



PROCEEDINGS

SEMINAR NASIONAL
ENERGI TERBARUKAN DAN
PRODUKSI BERSIH 2012



SENTER PROBE 2012

*Hotel Marcopolo
Bandar Lampung, 20 Juli 2012*

Diselenggarakan oleh:

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



ISSN 0016087403

SUSUNAN PANITIA

| | | |
|-------------------------------|---|--------|
| Penanggung Jawab | : Harmen Burhanuddin, ST, MT | |
| Ketua | : Dr. Eng. Shirley Savetlana, M.Met | |
| Wakil Ketua | : Ir. Herry Wardono, MSc | |
| Sekretaris | : A. Yudi Eka Risano, ST, MSc | |
| Bendahara | : Ir. Arinal Hamni, MT | |
| | | |
| Sie Pendanaan dan Sponsorship | : Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, MT Ahmad Yahya Teguh Panuju, ST, MT Drs. Sugiyanto, M.T. Mei Hartanto Agus Rantaujaya Dwi Andri Wibowo | [koor] |
| | | |
| Sie Sekretariat dan Humas | : Dyan S, ST, MT Jorfri B. Sinaga, ST, MT Tarkono, S.T., M.T. Yusi Adiansyah Chikal Noviansyah | [koor] |
| | | |
| Sie Acara dan Moderator | : Dr. Asnawi Lubis, MSc Dr. Gusri Akhiyar Dr. Yanuar Burhanuddin Dr. M. Badaruddin Lingga Aditya Rabiah Suryaningsih | [koor] |
| | | |
| Seksi Perlengkapan | : Zulhanif, ST, MT Harnowo Supriadi, ST, MT Agus Sugiri, ST, MT Dadang Hidayat Nanang Trimono Tri Wibowo M.Todaro Galih Koritawa Purnomo Dwi Novriadi Agus Rantaujaya Rahmat Ramadhan | [koor] |

Seksi Publikasi & Dokumentasi : Ahmad Suudi, ST, MT [koor]
Martinus, M.Sc.
Nafrizal, S.T., M.T.
Adi Nuryansyah
Rizal Ahmad Fadlil
Cecep Tarmansyah

Seksi Konsumsi : Novri Tanti, ST, MT [koor]
Anita Dewi
Anisa Rahman
Yayang Rusdiana
Bebi

KATA PENGANTAR

Selamat datang di Seminar Nasional Energi Terbarukan dan Produksi Bersih (SENTER PROBE 2012). Kami sangat senang sekali mendapatkan kehormatan sebagai tuan rumah dalam seminar ini. Seminar ini bertujuan menyatukan para akademisi, peneliti, dan praktisi untuk saling bertukar informasi dan membagi pengalaman-pengalaman, ide-ide, dan hasil penelitian mereka. Seminar ini diharapkan juga dapat memberi masukan bagi berbagai pihak terutama dalam bidang energi terbarukan dan produksi bersih. Dalam seminar ini juga diharapkan dapat menyemangati dan membangun kerjasama antara pihak akademik, peneliti, dan industri.

Panitia telah menyeleksi 102 makalah untuk dipresentasikan dari seluruh wilayah Indonesia. Tiga orang keynote speaker juga akan menyampaikan kuliah umum mengenai energi terbarukan dan produksi bersih yang akan memberikan atmosfer akademik yang baik dalam seminar ini.

Kami yakin dengan dukungan dari semua pihak, seminar ini berpotensi sebagai forum utama dalam kerjasama antara peneliti, akademisi, dan industri serta dapat memberikan masukan dalam masalah-masalah krisis energi dan produksi bersih di Indonesia. Kami berharap Bapak-bapak dan Ibu-ibu akan mengalami waktu yang menyenangkan selama berkunjung di Lampung ini. Kurang lebihnya jika ada yang yang tidak berkenan atas penyelenggaraan kami, kami dari panitia SENTER PROBE 2012 memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Terima Kasih,

Salam Kami,

Dr.Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.

DAFTAR ISI

Susunan Panitia
Kata Pengantar
Daftar Isi

A. Keynote Speech

Produksi Bersih untuk Meningkatkan Efisiensi dan Mencegah Pencemaran

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA 1

B. Pemakalah

Pengaruh Perlakuan *Spheroidized Anneal* 810°C dan *Quench Temper* 600°C Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Perkakas Tuang Untuk Aplikasi Otomotif

Abdul Aziz 4

Optimalisasi Produksi Enzim Selulase oleh *Aspergillus niger* pada Limbah Berlignoselulosa

Adam 12

Kaji Prospek Pemanfaatan Turbin Angin Kecepatan Rendah untuk Pembangkit Energi Listrik di Desa Langi Kepulauan Simeulue

Anan Niazi 15

Optimasi Desain Alat Pengering Ikan Air Tawar dengan Kapasitas 20 kg Memanfaatkan Energi Surya

Anhar Khalid 19

Pengaruh Kualitas Briket Penyala dan Pasokan Udara terhadap Waktu Tahan Temperatur Tinggi pada Pembakaran Briket

Anton Irawan 24

Kajian Awal Pengolahan Sekam Padi sebagai Bahan Bakar untuk Ketahanan Energi Nasional melalui Proses Torefaksi

Anton Irawan 29

Optimasi Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro dengan Daya Nominal 12 kW dengan Memanfaatkan Arus Sungai Selatan, Propinsi Kalimantan Selatan

Budi Hartadi 33

Mechanical Design of Pressure Vessel for Three Phase Separator Using PV Elite Software

Cokorda Prapti Mahandari 37

Karakteristik Perpindahan Panas Peleburan Parafin-Al₂O₃ Sebagai Material Penyimpan Panas

Dailami 42

Analisa Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Bush 25 OEM & 25SH OEM

Frendy Lumban Batu 47

Kajian Potensi Penggunaan Lumpur Lapindo sebagai Perekat Briket Arang Kayu sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan

Gabriela Amanda Gita Aristia 50

Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Angin dengan Kapasitas 350 W untuk Rumah Tangga

Idzani Muttaqin 54

Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Purwarupa Turbin Aliran Aksial Untuk Pembangkit Energi Listrik Mikro Hidro Head Rendah di Aceh

Irwansyah 61

Increasing Life-Time and Maintainability of Chain at Two Wheeled Vehicle with Using Chain Tighter

Isman Harianda 66

Pengaruh Temperatur Tuang serta Ukuran Ayakan Pasir terhadap Cacat Porositas dan *Blowhole* Coran Al-Si₇ yang Dicor dengan Metode *Evaporative*

Ivan Junaidy 71

Studi Pemanfaatan Kulit Buah Naga Sebagai Materi Sel Surya Dengan Metode *Dye Sensitized Solar Cell*

Jennis Fitria 74

Mendukung Penyediaan Energi dengan Pemanfaatan Sumber-Sumber Terbarukan untuk Mendukung Pembangunan di Sulawesi Tenggara

Ridway Balaka 78

Perancangan Mesin Conveyer Belt Berbasis PLC

Sulis Yulianto 85

The Constraint Of Introduction Of Nuclear Power Plant In Indonesia

Tjipta Suhaemi 90

Evaluasi Resiko *Overpressure* Ketel Uap pada Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Pabrik Gula Kebon Agung, Malang, Jawa Timur

Wahyunanto Agung Nugroho 94

Penerapan Briket Kokas Lokal Hasil Penelitian Guna Bahan Bakar Dalam Proses Pengecoran Logam

Dwi Aries Himawanto 100

Perbandingan Perjalanan Menggunakan Sepeda Motor dan *Park & Ride* untuk Sistem Transportasi Pedesaan Jawa Timur

Ibnu Hisyam 106

Pengolahan Limbah Cair Industri Gula dengan Menggunakan Bioreaktor Anaerob Membran

Rahmayetty 110

Pengaruh Ukuran dan Jarak Nozel terhadap Perubahan Putaran Turbin Pelton

Rr. Sri Poernomo Sari 114

Benefit Cost Analsis of Using Landfill Gas for Bus (Case Study of Pancoran Mas Landfill, Depok)

Farizal 119

Pengaruh Sudut Belokan *T-Junction* terhadap Efisiensi Pemisahan *Kerosene-Water* dengan Diameter Sama

Kemas Ridhuan 123

| | |
|--|-----|
| Percepatan Penerapan Teknologi Biogas Berbahan Kotoran Hewan Untuk Meningkatkan Pertumbuhan UMKM Di Kabupaten Pamekasan | |
| Hozairi | 127 |
| The Effect of Harvesting Period and Volume of <i>Tetraselmis Chuii</i> to Absorb CO₂ in Bubble Photobioreactor | |
| Aprilla Ayu Ramasari | 133 |
| Synthesis Bioplastic from <i>Gracilaria coronopifolia</i> Seaweed as Edible Film | |
| Asih Isnaini | 137 |
| Synthesis Bioplastic From <i>Gracilaria Coronopifolia</i> Seaweed And Gelatine As <i>Edible Film</i> | |
| Meylina | 142 |
| Influence Washing Biodiesel With Spray Washing Method To Biodiesel Quality From Refined Palm Oil (RPO) | |
| Jemmy Ignatius | 150 |
| Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi Pada <i>Pretreatment</i> Minyak Goreng Bekas Dalam Menghasilkan Biodiesel | |
| Riska Aprilliani | 155 |
| Pemanfaatan Bentonit Alam Teraktivasi Pada <i>Pretreatment</i> Minyak Goreng Bekas Sebagai Bahan Baku Biodiesel | |
| Dian Wulan Sari | 159 |
| Decomposition Anaerobic of Mixed Waste Liquid Industry Using Reactor UASB Series | |
| Vincentia Harlistriani | 163 |
| Nonlinear Finite Element Analysis of Pressurized LPG Toroidal Tank with Non-Radial Nozzle | |
| Asnawi Lubis | 170 |
| Pemotongan Plat Baja Semiotomatis dengan Oksi-Asetilen pada Ketebalan Plat 2,4,6,8 dan 10 mm | |
| M. Yunus | 175 |
| Transesterification Refined Palm Oil (RPO) to Biodiesel with Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR) | |
| Syamsidar | 182 |

Influences of Thickness and Concentration of Sulphur Powder on Surface Briquette Made Of Woody Biomass To Ignition Behavior

Nia Kurniati 185

Pemanfaatan Serbuk Besi Dari Sisa Hasil Proses Permesinan Untuk Meningkatkan Sifat Mekanik Pada Aluminium Yang Dicor Ulang (*Al Remelting*)

Zulhanif 188

Rancang Bangun *Secondary Cabin Roof* Untuk Membantu Meringankan Kerja AC Mobil

Ahmad Su'udi 192

Penentuan Waktu Optimal Penyerapan Gas CO₂ Pada Berbagai Konsentrasi Dan Salinitas Menggunakan *Nannochloropsis Oculata* Dalam Fotobioreaktor

Subiyantoro 197

Anaerobic Digestion of Mix Industrial Waste Water Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor in Series with Variation of COD

Kurniadi 201

The Comparison of Furfural Yield in Hydrolysis Reaction Used Various Catalyst

Suharto 206

Pengaruh Konsentrasi CO₂ Input dan Salinitas Media Kultur terhadap Penyerapan CO₂ pada Mikroalga *Nannochloropsis oculata*

Widya Wahyuningsih 211

Pengaruh Ketebalan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang (*Cross Flow*) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh)

Agus Sugiri 215

Aplikasi Arang Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Udara Pembakaran Untuk Meningkatkan Prestasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah

Herry Wardono 221

Determination of Optimum Number of Microalgae Biomass *Nannochloropsis oculata* with a Variation of CO₂ Concentration and Type Photobioreactor

Indri Febrian Esa Tika 225

| | |
|---|-----|
| Drying Curcuma (<i>Curcuma domestica</i>) using Vacuum Dryer | |
| Doni Purnama | 229 |
| Study of Effects of Biomass' Composition to Quality of Bio-oil from Pyrolysis | |
| Alfian Yuandika Putra | 233 |
| Review The Effects of Temperature, Particle Size, and Heating Rate on Pyrolysis of Durian Skin to Yield Bio-oil | |
| Astri Ayu Cahyani | 236 |
| Perancangan Tungku Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Untuk Kapasitas Daya 160 Kw | |
| Imron Rosyadi | 240 |
| Studi Awal Kelayakan Ekonomi Pabrik Torefaksi Sampah Perkotaan menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Skala Pilot Berkapasitas 25 Ton per Jam | |
| Amrul | 245 |
| Effect of Cassava Powder Filler to Physical and Mechanical Properties of Bioplastic Based on The Sorgum Starch | |
| Yuli Darni | 251 |
| Produktivitas Etanol dari Molases dengan Proses Fermentasi pada Kondisi Penambahan Aliran Udara atau Gas Nitrogen | |
| Aji Alriandi | 257 |
| Studi Aplikasi <i>Bio-dryer</i> untuk Meningkatkan Produktivitas, Kualitas dan Pendapatan Petani Onggok | |
| Indra Mamad Gandidi | 264 |
| Umur Pahat dan Kekasaran Permukaan Sewaktu Pemesinan Ti-6%Al-4%V ELI pada Kecepatan Tinggi | |
| Gusri Akhyar Ibrahim | 271 |
| Keausan Excessive Roda Rel Kereta Api Babaranjang Jalur Tajungenim ke Tarahan | |
| I Made Parwata | 277 |
| Kajian Eksperimental Pengaruh Berat Dan Bentuk Katup Buang Terhadap Unjuk Kerja Model Pompa Tanpa Motor (<i>Hydraulic Ram Pump</i>) | |
| Tumpal Ojahan R | 282 |

Investigasi Reduksi *Particulate Matter* Emisi Gas Buang Motor Diesel dengan Metode Penerapan Spray Air Laut

Agung Sudrajad 288

Manufaktur Ramah Lingkungan: Suatu Tinjauan Pemesinan Paduan Magnesium Menggunakan Termografi

Yanuar Burhanuddin 293

Kaji Eksperimen untuk Distribusi Tegangan Geser Lapisan Adesif pada Sambungan Pipa Komposit

Jamiatul Akmal 299

Pemanfaatan Serabut Kelapa sebagai Reinforcement pada Pembuatan Rem Komposit

Agus Triono 304

Mechanical Properties of Coconut Shell Particles Reinforced Polyester Composite

Shirley Savetlana 309



KEYNOTE SPEAKER



Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Program Doktor dan Magister Ilmu Lingkungan

Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

Jl. Imam Barjo SH No. 3 Semarang

Email: p.purwanto@gmail.com, purwanto@undip.ac.id

Produksi Bersih untuk Meningkatkan Efisiensi dan Mencegah Pencemaran

Pembangunan sektor ekonomi merupakan salah satu pilar pembangunan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pemakaian sumber daya alam untuk pembangunan ekonomi yang tidak mengindahkan aspek lingkungan maupun sosial akan memberikan dampak negatif pada jangka pendek maupun jangka panjang.

Pada era global dan pasar bebas sekarang ini, industri dihadapkan pada persaingan yang ketat sehingga keunggulan komparatif yang menjadi andalan pada masa lalu sudah tidak mampu lagi untuk menghadapi tantangan saat ini. Industri juga dihadapkan pada isu lingkungan global dan pelestarian sumber daya alam yang dipergunakan. Kebutuhan akan bahan baku industri dipenuhi dari berbagai sumber daya alam seperti minyak dan gas bumi, batu bara, bahan-bahan mineral, kayu. Sumberdaya alam yang tidak dapat diperbarui (*non renewable resources*) akan habis sehingga eksploitasinya perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan.

Tantangan dan tuntutan industri saat ini sedemikian banyak tidak hanya pada masalah daya saing, efisiensi, dan lingkungan saja, namun lebih luas mencakup pembatasan pemakaian bahan-bahan berbahaya dan beracun, keselamatan kerja dan tanggung jawab sosial perusahaan. Pengelolaan lingkungan juga dikaitkan dengan penilaian kinerja industri dengan peringkat taat dan tidak taat dalam PROPER. Berbagai sertifikasi internasional juga diberlakukan untuk industri mulai dari sertifikasi sistem manajemen mutu, sistem manajemen lingkungan, dan sistem manajemen keselamatan.

Selain produk yang diinginkan, industri juga menghasilkan produk samping dan bukan produk berupa limbah bahan-bahan berbahaya dan beracun, limbah padat, limbah cair, emisi panas dan gas. Limbah dan emisi yang ditimbulkan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara, air maupun tanah bila tidak dikelola dengan baik. Dampak negatif pencemaran limbah industri dapat terasa dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Banyak industri dalam melakukan upaya pengelolaan lingkungan masih menekankan pada pengolahan limbah (*end-of-pipe treatment*). Pengolahan limbah bukanlah penyelesaian penanganan lingkungan yang baik. Pendekatan pengelolaan lingkungan dengan mengedepankan aspek pencegahan timbulan pencemar langsung dari sumbernya (*preventive*) merupakan strategi pro aktif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi yang memberikan dampak positif bagi lingkungan.

Kegiatan industri perlu memadukan tiga pilar Pembangunan Berkelanjutan yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan dan sosial. Penerapan Produksi Bersih di industri yang memadukan pendekatan efisiensi dan pencegahan pencemaran menjadi dasar bagi pembangunan sektor industri berkelanjutan.



PEMAKALAH

Pengaruh Perlakuan *Spheroidized Anneal 810°C* dan *Quench Temper 600°C* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Perkakas Tuang Untuk Aplikasi Otomotif

Oleh : Abdul Aziz¹

1. Teknik Metalurgi Untirta
mang_azis@yahoo.com

Abstract :

In these research, tool steels materials added silicon as its main composition : 0,8%wt, 2,0%wt and 3,0% wt for each samples of tool steels materials. The other alloys added to tool steel materials with constant amount of composition. For every tool steels materials did not given vanadium element as its alloys, to know the mechanical properties for each tool steels materials without vanadium alloys. As – cast tool steels alloys given quench temper treatment with use 600°C and spheroid anneal 810°C . The samples that have been quench temper and spheroid anneal treatment characterized with mechanical and microstructure test. The results of these reserch shows that tool steels sample alloys have tensile strength of samples C>D>E>B>A. These condition equals to the morphology of martensites phase and carbide presipitates that the more rough of morphology will cause lower in mechanical properties of tool steels materials.

Keywords: ToolSteelsMartensite, TensileStrength.,

Latar Belakang Penelitian

Aplikasi dari baja perkakas berkembang cukup pesat seiring dengan perkembangan di dunia industri, terutama di bidang manufaktur dalam aplikasi *mold* dan *dies*. Adapun baja perkakas dapat dikategorikan menjadi enam antara lain : *cold work*, *shock resisting*, *hot work*, *high speed*, dan *special purpose tool steel*. diantara semuanya *cold work tool steel* merupakan jenis baja perkakas yang paling penting, mereka banyak digunakan pada berbagai jenis perkakas dan cetakan, serta aplikasi lainnya yang memerlukan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus yang tinggi dan murah. [Andi Setiawan, 2002].

Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan, dikarenakan dalam dunia industri masih menggunakan baja perkakas dengan paduan utama molibdenum dan vanadium sebagai karbida penguat. Padahal, karbida penguat molibdenum dan vanadium sangat mahal. Dalam penelitian ini dikembangkan baja perkakas dengan karbida penguat silikon. Karbida silikon diharapkan dapat berperan sebagai karbida penguat yang berfungsi sama dengan molibdenum. Kelebihan dari penggunaan silikon sebagai karbida penguat adalah murah, sehingga diharapkan diperoleh baja perkakas yang murah namun memiliki sifat mekanik yang setara dengan baja perkakas berpaduan molibdenum dan vanadium. [ASM Vol 9, 2004].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan baja perkakas model baru tanpa paduan Molibdenum dan Vanadium, namun memiliki sifat mekanik, laju aus dan struktur mikro yang diharapkan minimal setara dengan baja perkakas yang mempergunakan Molibdenum dan Vanadium sebagai paduan. [Avner, Sydney. 1994].

Baja Perkakas Model Baru

Penggunaan baja perkakas berkembang sangat pesat seiring dengan perkembangan di dunia industri, terutama di bidang manufaktur dalam aplikasi *mold* dan *dies*. Baja perkakas dapat dikategorikan menjadi enam antara lain : *cold work*, *shock resisting*, *hot work*, *high speed* dan *special purposes tool steel*. Diantara semuanya *cold work tool steel* merupakan jenis baja perkakas yang paling penting, mereka banyak digunakan pada berbagai jenis perkakas dan cetakan serta aplikasi lainnya, hal ini dikarenakan memiliki ketahanan aus yang tinggi dan murah. [B.H. Kim at All, 1998].

Penggunaan baja perkakas dalam aplikasi berbagai cetakan selalu diharapkan menghasilkan cetakan dengan kualitas yang baik untuk menghasilkan produk – produk yang juga berkualitas tinggi. Teknologi yang digunakan oleh industri – industri ini mulai dari yang sederhana hingga yang paling moderen. Hasil riset senantiasa menghasilkan produk - produk baru dengan kualitas yang lebih baik. [Degarmo, at all, 2003].

Baja perkakas berdasarkan aplikasinya terbagi menjadi empat kelompok, diantaranya adalah : Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold work tool steel*), baja perkakas pengerjaan panas (*hot work tool steel*), *high speed tool steel* dan *special purposes tool steel*. [www.interalloy.com, 2008].

B.1. Baja perkakas Pengerjaan Dingin (*Cold Work Tool Steel*).

Jenis baja perkakas ini dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok tergantung dari proses pengerasannya yang terjadi.

1. Water – hardening tool steel

- Simbol : Tipe W

- Baja karbon(1%) dengan sedikit atau tanpa penambahan unsur paduan (misalnya V dan Cr).
 - Memiliki sifat *hardenability* yang rendah.
 - Pada proses pengerasannya, baja karbon pada temperatur *austenite* di *quench* dengan media air.
2. *Oil – hardening tool steel*
- Simbol : tipe O
 - Di *quench* dengan media oli.
 - Mengandung kadar karbon antara 0,9% - 1,5% dengan penambahan paduan dalam jumlah kecil misalnya W, Mn, Cr dan Mo.
 - Memiliki sifat *hardenability* lebih baik daripada di *quench* dengan air.
 - Digunakan untuk *cold forming dies*, *blanking dies* dan *gages*. [www.efunda.com,2008].
3. *Air – hardening tool steels*.
- Simbol : Tipe A
 - Mengandung karbon sebesar 1% dengan paduan utamanya : Mn, Cr, dan Mo.
 - Proses pengerasannya dengan pendinginan di udara terbuka.
 - Memiliki sifat tahan aus dan perubahan dimensi yang kecil.
4. *High carbon high chromium*.
- Simbol : tipe D
 - Mengandung 1 – 2,3% C; 12 – 14% Cr, dan sedikit V, Mo, W dan Co.
 - Memiliki sifat tahan aus yang tinggi. [15]
 - Dapat ditingkatkan kekerasannya dengan media air atau oli.
- B.2. Baja Perkakas Pengerjaan Panas (*Hot Work Tool Steel*).
- Simbol : tipe H
 - Baja perkakas jenis ini digunakan untuk proses *hot working* seperti *stamping* dan *drawing*.
 - Memiliki sifat mekanis seperti : Kekuatan tinggi, tahan aus, ketangguhan tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi.
- B.3. Baja Perkakas Kecepatan Tinggi (*High Speed Tool Steel*).
- Memiliki kekerasan tinggi pada temperatur diatas 550°C.
 - Digunakan sebagai alat potong dengan kecepatan tinggi.
 - Memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu potong dengan baik.
 - Berdasarkan elemen paduannya terbagi menjadi dua kelompok :
 1. *Tungsten high speed steels* (Tipe T), Mengandung kadar tungsten yang tinggi disertai penambahan Cr, V, dan Co.
 2. *Molybdenum steel* (Tipe M), mengandung *molybdenum* dengan kadar tinggi disertai penambahan W, Cr, V dan Co.
- B.4. Baja Perkakas Khusus (*Special Purpose Tool Steel*).

Baja perkakas ini terbagi menjadi empat, diantaranya :

1. Tipe S (*Shock Resisting Tool Steels*)
 - Baja karbon medium (0,5% C) dengan elemen paduan Si, Cr dan W.
 - Sifat mekanisnya adalah : kekerasan yang tinggi, tahan aus, tahan terhadap impact.
 - Diaplikasikan untuk pahat, palu, dan pisau.
2. Tipe L (*Low – Alloys Tool Steel*)
 - Mempunyai kesamaan dengan *water hardening tool steel*.
 - Paduan utamanya adalah *chromium*.
 - Digunakan untuk membuat alat yang membutuhkan ketahanan aus dan ketangguhan yang tinggi.
3. Tipe F (*Carbon Tungsten Tool Steels*).
 - Baja karbon tinggi dengan *tungsten* sebagai paduannya.
 - Memiliki sifat tahan aus dan abrasi.
 - Digunakan untuk membuat peniti, alat pemoles atau *taps*.
4. Tipe P (*Moulds Steels*).
Baja karbon rendah dengan paduan berupa Cr dan Ni. [info.lu.farmingdale.edu,2008].

Sifat material yang diinginkan adalah material yang memiliki sifat mekanik setara dengan material baja perkakas SKD 11, tetapi tanpa Molibdenum dan Vanadium . Dalam pembuatan material baja perkakas baru, dihilangkannya Molibdeum dan Vanadium, namun keberadaan Molibdenum dan Vanadium diganti dengan Silikon. Diharapkan, silikon akan mampu membentuk karbida – karbida keras yang nantinya memiliki sifat mekanik yang setara dengan baja perkakas yang memakai paduan Molibdenum dan Vanadium. [Krauss, George,1977].

Perlakuan panas *quench temper* bertujuan untuk merekayasa material baja perkakas agar memiliki fasa martensit dominan, dan endapan karbida dapat tumbuh dengan halus. Fasa martensit sendiri adalah fasa yang keras namun getas. Endapan – endapan karbida yang diharapkan muncul berfungsi sebagai *dispersion strengthening* atau dapat juga berfungsi sebagai *secondary phase strengthening* (endapan fasa kedua). Endapan fasa kedua tersebut berfungsi untuk menguatkan baja perkakas, dengan cara menghalangi pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang dapat menguatkan suatu material. [tppinfo.com,2008].

Perlakuan *quench temper* dimulai dengan pemanasan sample baja perkakas pada temperature 920°C, kemudian didinginkan dengan cepat dengan berbagai media, seperti oli air atau udara. Semakin tinggi kecepatan pendinginan maka martensit yang terbentuk semakin kasar. Semakin kasar dari martensit yang terbentuk, maka material semakin getas. [info.lu.farmingdale.edu,2008].

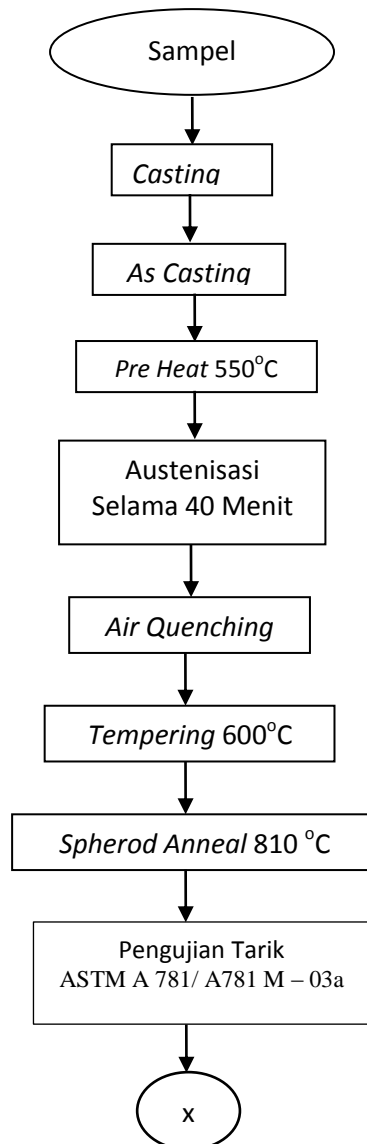
Salah satu media pendinginan dari baja perkakas adalah udara. Material baja perkakas didinginkan dengan media udara. Pendinginan baja perkakas

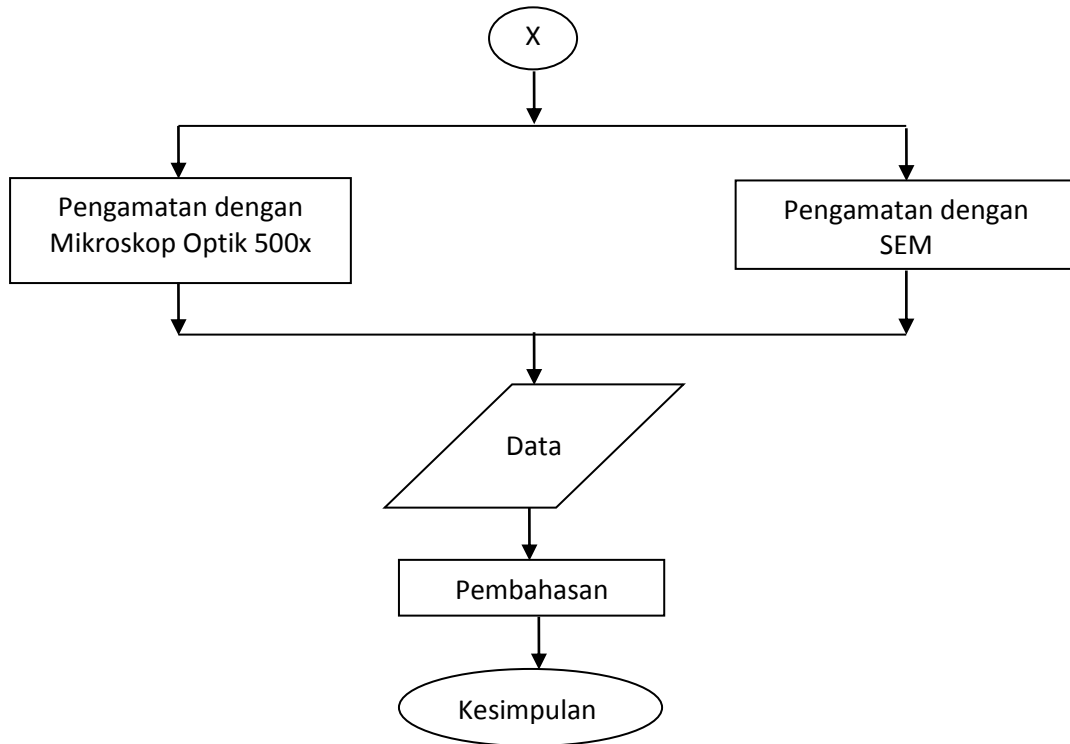
dengan media udara diharapkan akan menghasilkan martensit yang cukup halus, sehingga cukup efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi yang berfungsi untuk memperkuat material.[WJ.Nam at All,1998].

Tempering berfungsi untuk meperlunak fasa martensit. Diharapkan baja perkakas yang telah ditempering menghasilkan baja perkakas yang kuat, keras dan lunak, sehingga menghasilkan elongasi yang lebih baik apabila dibandingkan dengan fasa martensit yang belum di temper. Tempering akan memperhalus karbida yang terdispersi, semakin halus karbida yang terdispersi maka material baja perkakas akan semakin kuat dan semakin keras. Tempering pada temperatur 640°C, diharapkan akan menghasilkan karbida yang paling halus.[www.msm.ac.uk].

Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan persiapan benda uji material yaitu berupa baja perkakas dan sejumlah paduan silikon serta paduan lainnya, kemudian dilakukan peleburan dan di cetak dalam cetakan pasir. Dari hasil cetakan pasir, dapat diperoleh sample *as - cast*. Sample *as - cast* kemudian di austenisasi pada suhu 920°C selama 40 menit, kemudian di lakukan pendinginan cepat setelah itu di temper pada temperatur 600°C selama 240 menit dan di Spheroid Anneal 810oC selama 60 menit kemudian didinginkan di udara. Sebelum di austenisasi, sampel terlebih dahulu di *pre-heat* selama 10 menit dengan temperatur 550°C. Standar pengujian tarik yang dilakukan adalah ASTM A 781/ A781 M – 03a.





Hasil dan Diskusi

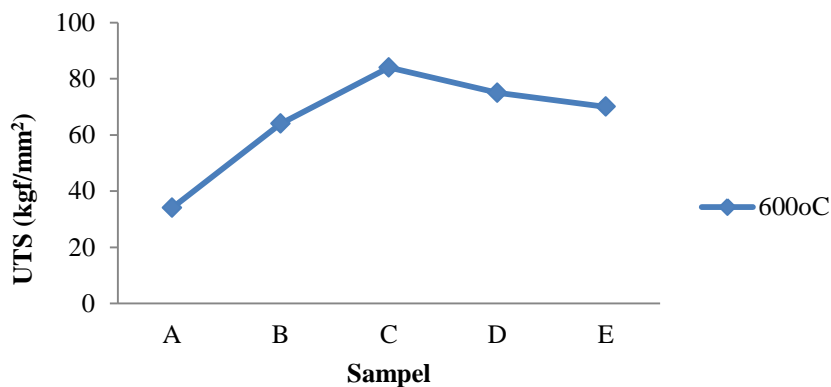
Pengujian komposisi kimia

Untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel yang dibuat dengan uji *spectro* dihasilkan komposisi

silikon dalam jumlah rata – rata 0,5% sebagai paduan utama.

IV.2. Data Hasil Pengujian Tarik 600°C.

| Temperatur Temper | Sampel | UTS (kg/mm ²) |
|-------------------|--------|---------------------------|
| 600°C | A | 34 |
| 600°C | B | 64 |
| 600°C | C | 84 |
| 600°C | D | 75 |
| 600°C | E | 70 |



Grafik 4.1. Nilai Kekuatan Tarik Tiap – Tiap Sampel 600°C.

Dari hasil pengujian tarik sampel (Grafik 4.1.), yang telah mengalami tempering 600°C, diperoleh untuk sampel A nilai kekuatan tariknya 37 kg/mm², sampel B 20 kg/mm², Sampel C 29 kg/mm², sampel D 17 kg/mm², sampel E 24 kg/mm². Jika diurut dari

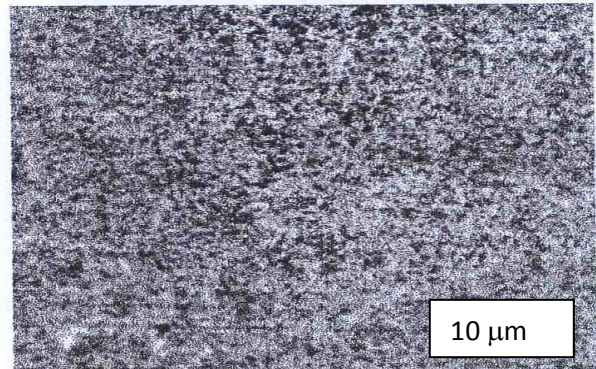
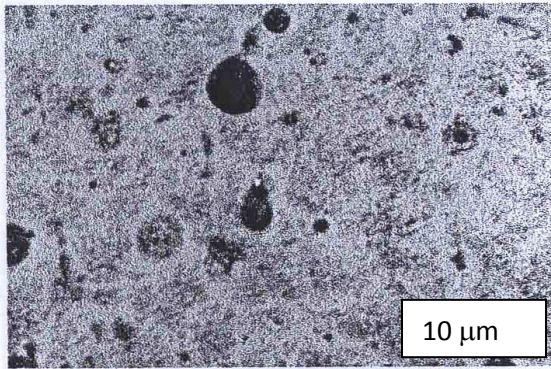
sampel dengan nilai kekuatan tarik terendah sampai yang tertinggi yaitu A < C < E < B < D. Rendahnya nilai kekuatan tarik sampel A dikarenakan rendahnya kadar silikon yaitu sebanyak 0,88% dan kadar kromium 1,5 % serta kadar mangan (Mn)

1,077%. Silikon, kromium dan mangan merupakan unsur – unsur pembentuk karbida yang berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi. Semakin banyak dislokasi yang terhalang akan membuat material menjadi semakin kuat. Jika diteliti dari data sampel hasil uji spektroskopi, terlihat bahwa kadar silikon, kromium dan mangan bernilai rendah jika dibandingkan dengan material berjenis : B, C, D, E. Penemperan sampai temperatur 600°C, masih belum maksimal dalam hal pengkasaran karbida didalam matriks sampel paduan baja perkakas, sehingga pengkasaran karbida yang masih belum optimal ini, masih tetap mempermudah dari perjalanan dislokasi, sehingga nilai kekuatan tarik dari sampel A masih tetap rendah.

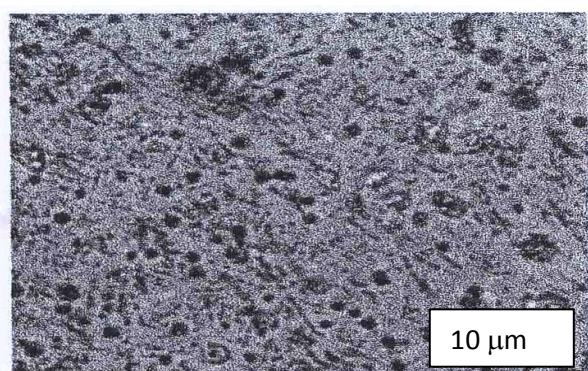
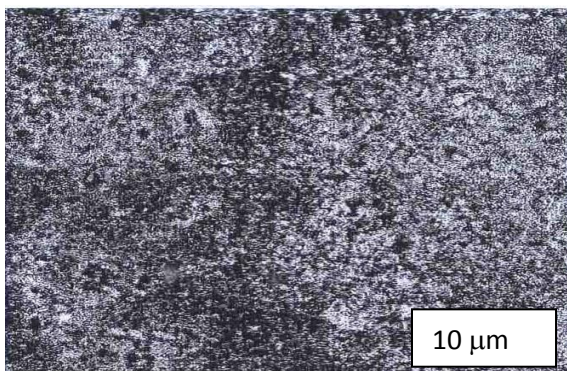
Nilai kekuatan tarik yang makin meninggi untuk sampel B, E, D dan C, dikarenakan pengkasaran karbida yang semakin optimal, sehingga semakin

efektif menjadi faktor penghalang dari pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang akan menguatkan material. Jika dilihat dari aspek unsur paduan, maka untuk sampel B,E,D dan C, memiliki kadar silikon, kromium dan mangan yang semakin meninggi. Kadar paduan unsur pembentuk karbida yang semakin meninggi tersebut akan memperbesar potensi terbentuknya endapan – endapan karbida yang efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi.

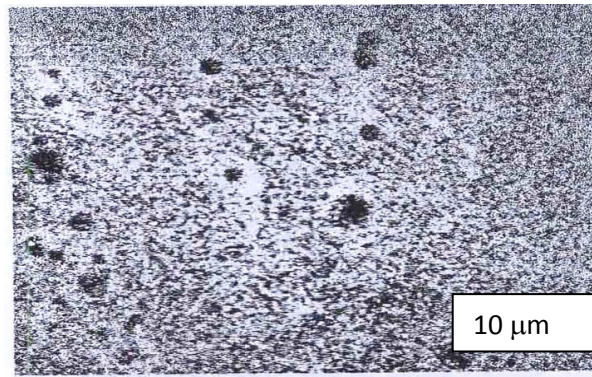
Dari pengamatan struktur mikro diperoleh bahwa morfologi karbida sampel A adalah paling kasar dan menggumpal dibandingkan morfologi karbida – karbida pada material paduan B, E, D dan C. Karbida yang menggumpal dan kasar tidak begitu efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang akan menguatkan material benda uji.



Gambar 4.1. Foto Struktur Mikro Sampel B 600°C. 500X. Gambar 4.2. Foto Struktur Mikro Sampel C 600°C. 500X



Gambar 4.3. Foto Struktur Mikro Sampel A 600°C.500X. Gambar 4.5. Struktur Mikro Sampel D 600°C.500X.



Gambar 4.4. Struktur Mikro Sampel E.600°C. 500X

Fenomena perubahan sifat mekanik salah satunya di sebabkan oleh *coarse* sementit yang relative kasar digantikan oleh *disperse* karbida yang lebih halus. Fenomena ini hanya terjadi pada baja paduan yang mengandung unsur paduan berbentuk karbida yang kuat, yaitu Cr, V, W, Mo, dan Ti. Jika temperatur temper dinaikan maka kekerasan akan menurun dikarenakan energi yang diberikan akan membuat pengkasaran karbida sehingga karbida akan semakin membesar.

Mekanisme *secondary hardening* sendiri adalah suatu fenomena yang merupakan bentuk reaksi pengerasan penuaan (*age hardening*), dimana *disperse* sementit yang relative kasar digantikan oleh *disperse* karbida yang lebih halus. Fenomena ini hanya terjadi pada baja paduan yang mengandung unsur paduan berbentuk karbida yang kuat, yaitu Cr, V, W, Mo, dan Ti.

dengan diberlakukannya perlakuan panas *quench temper*, maka nilai *Ultimate Tensile Stress* (UTS) yang dimiliki baja perkakas semakin tinggi, hal ini mengakibatkan baja perkakas memiliki nilai kekuatan tarik semakin tinggi dan akan turun kembali setelah melewati titik maksimum, titik maksimum dari UTS tersebut dikarenakan adanya hubungan dengan keberadaan karbida pada *tempering* temperatur rendah *primary* martensit yang terdekomposisi menjadi karbida dan berkelompok dengan atom karbon. Persipit karbida tidak akan efektif untuk menghambat pergerakan dislokasi selama terjadinya proses peregangan ini, sehingga menyebabkan nilai UTS menjadi sangat rendah. Walaupun demikian, selama temperatur temper ditingkatkan, persipit karbida akan meningkatkan aktifitas kelarutan karbon dalam matriks dan secara simultan ruang antar partikel akan menurun dan akan meningkatkan nilai UTS pada titik optimum. Tingginya nilai UTS, dikarenakan ada pengaruh *solid solution strengthening* akibat dari penambahan Silikon (Si). Kekuatan tarik dipengaruhi oleh kehalusan karbida paduan dan penyebarannya yang merata pada matriks yang berhubungan dengan ruang pergerakan dislokasi. Semakin halus dan merata karbida yang

tersebar maka kekuatan tariknya akan semakin tinggi pula (*dispersion strengthening*).

Dari hasil uji metalografi baja perkakas dengan perlakuan panas *quench temper* dapat dilihat pengaruh dari penambahan unsur paduan pada baja perkakas ternyata merubah kehalusan besar butir dimana dipengaruhi oleh temperatur yang berbeda, yang terlihat pada foto hasil metalografi baja perkakas dimana memiliki dua fasa yaitu fasa ferit dan fasa martensit temper.

Dari hasil pengamatan metalografi untuk sampel A (Gambar 4.3.) diperoleh data bahwa gumpalan karbida dan morfologi karbida adalah yang paling kasar dibandingkan sampel – sampel yang lain. Gumpalan karbida yang kasar tersebut akan mengakibatkan pada lemahnya material, dalam hal ini menghasilkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah dibandingkan dengan kurva – kurva yang lainnya. Gumpalan karbida serta morfologi karbida yang kasar tidak begitu efektif dalam upaya untuk menghalangi pergerakan dislokasi, yang mana dengan terhambatnya pergerakan dislokasi akan memperkuat material. Mekanisme seperti ini disebut juga dengan pengerasan endapan. Untuk sampel B (Jika diamati maka sampel B (Gambar 4.1.). memiliki morfologi yang lebih lembut dari sampel A, dan gumpalan karbida pada sampel B lebih halus jika dibandingkan dengan sampel A. Dengan demikian apabila di tinjau dari aspek metalurgi maka sampel B lebih kuat dari sampel A. Dikarenakan dalam hal kemampuan menghalangi pergerakan dislokasi maka sampel B lebih efektif dari sampel A. Jika dibandingkan antara paduan B dengan paduan A, maka gumpalan karbida paduan B lebih halus dari paduan A, sehingga dapat dikatakan karbida pada paduan B lebih tersebar merata apabila dibandingkan dengan gumpalan karbida paduan A. Endapan karbida cukup efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi, yang tentunya akan berakibat dalam hal pertambahan kekuatan logam.

Apabila dibandingkan antara baja perkakas jenis B dengan baja perkakas jenis E, maka secara morfologi, endapan karbida pada paduan E lebih halus apabila dibandingkan dengan endapan karbida

jenis B. Keadaan bahwa paduan E memiliki endapan karbida yang lebih halus dari paduan B, akan mengakibatkan karbida pada paduan E menjadi lebih efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi sehingga dapat dikatakan bahwa paduan E lebih kuat dari paduan B dan paduan A. Untuk paduan E, disamping memiliki gumpalan karbida yang lebih halus, juga memiliki sebaran karbida yang lebih halus pula, apabila dibandingkan dengan paduan A dan B. Sebaran karbida yang lebih halus tersebut akan meningkatkan kekuatan tarik dari baja perkakas.

Untuk paduan D, apabila dibandingkan dengan paduan A, B, dan E, maka paduan D memiliki gumpalan endapan karbida yang lebih halus apabila dibandingkan dengan baja perkakas jenis A, B dan E. Dengan demikian, karbida pada paduan jenis D akan lebih efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan jenis D lebih kuat dari paduan jenis A, B dan E. Disamping itu, secara morfologi bahwa paduan jenis D memiliki karbida yang tersebar lebih halus dari paduan jenis A, B dan E. Hal ini juga akan mengakibatkan baja perkakas jenis D lebih kuat dari baja perkakas jenis A, B dan E.

Baja perkakas jenis C (Gambar 4.2.) memiliki kekuatan tarik yang tertinggi apabila dibandingkan dengan baja perkakas jenis A, B, E dan D. Hal ini disebabkan secara morfologi, gumpalan maupun endapan karbida tersebar paling halus, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan C paling efektif dalam hal menghambat pergerakan dislokasi dibandingkan dengan jenis – jenis paduan lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa baja perkakas jenis C adalah baja perkakas paling kuat dibandingkan baja perkakas jenis lainnya. Disamping itu, baja perkakas jenis C, memiliki kadar karbon, silikon, kromium dan mangan yang tinggi. Tingginya unsur – unsur pembentuk karbida tersebut, akan memperbanyak jumlah karbida – karbida halus yang tersebar dalam matriks baja perkakas jenis C. Hal ini juga yang memperkuat alasan bahwa baja perkakas jenis C adalah yang paling kuat diantara baja perkakas jenis A, B, D dan E.

Kekerasan yang menurun ini disebabkan karena perubahan struktur martensit menjadi martensit temper. Martensit merupakan larutan padat lewat jenuh dari karbon yang terjebak di dalam struktur BCT dan merupakan fasa yang metastabil yaitu jika diberikan energi berupa kenaikan temperatur temper, maka karbon akan mengendap menjadi karbida. Penguatan karbida dapat disebut juga sebagai secondary hardening. secondary hardening sendiri adalah suatu fenomena yang merupakan bentuk reaksi penguatan penuaan (age hardening), (Gambar 4.1.), apabila dibandingkan dengan sampel A, secara morfologi bahwa endapan karbida sampel B lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel

A. Begitu juga, gumpalan karbida yang terbentuk untuk sampel B lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel A. Sehingga, secara teoritis bahwa sampel B memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar apabila dibandingkan dengan sampel A. Hal ini disebabkan endapan karbida pada sampel B lebih efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi apabila dibandingkan dengan sampel A.

Apabila dibandingkan bentuk morfologi karbida dari sampel D dengan sampel B, maka sampel D memiliki morfologi karbida yang lebih halus jika dibandingkan dengan sampel B. Disamping itu, gumpalan karbida pada sampel D lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel B. Morfologi karbida dari sampel D tersebut akan mengakibatkan bahwa sampel D memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel B. Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian. Apabila dibandingkan antara sampel E (Gambar 4.4.) dengan sampel D, maka sampel E memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar dari sampel D. Hal ini disebabkan karena, morfologi karbida sampel E lebih halus apabila dibandingkan dengan morfologi karbida sampel D, juga gumpalan karbida yang terbentuk pada sampel E lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel D. (Gambar 4.5.)

Data sampel uji tarik untuk sampel C (Gambar 4.2.), menghasilkan nilai kekuatan tarik yang tertinggi dibandingkan dengan data hasil uji tarik untuk sampel A, B, D dan E. Hal ini karena, secara morfologi bahwa endapan karbida pada sampel C adalah paling halus dibandingkan sampel – sampel yang lainnya. Juga, endapan karbida pada sampel C adalah paling halus dibandingkan sampel – sampel yang lainnya, sehingga secara teoritis dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian tarik pada sampel C adalah yang tertinggi dibandingkan seluruh sampel data pengujian tarik yang lainnya.

Simpulan dan Saran.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan, :

1. Baja perkakas model baru memiliki nilai kekuatan tarik setara dengan baja perkakas literatur.
2. Baja perkakas model baru memiliki struktur mikro yang setara dengan baja perkakas literatur.
3. Baja perkakas model baru banyak mengandung karbida jenis SixCy.

Daftar Pustaka

- [1]. Andi Setiawan. "Studi Pengaruh Temperatur Single dan Double Temper Pada Temperatur 200oC dan 530oC Terhadap Ketangguhan Baja Perkakas ASSAB 88 dan Baja XW-10 untuk Aplikasi Material Dies". *Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2002.*
- [2]. Leslie, William. "The Physical Metallurgy of Steel". Mc Graw Hill, Tokyo, 1981.

- [3].ASM Handbook Volume 9, Metallography and Microstructure (USA: ASM International, 2004).
- [4]. Avner, Sydney H, *Introduction to Physical Metallurgy*. Mc Graw Hill, Tokyo, 1994.
- [5].B.H.Kim,, J.S.Shin, S.M.Lee, B.M.Moon, H.D.Kim, S.Y.Ju, O.Y.Choi, *Effect of Si Content on Mechanical Properties of Mo and V Free Low Alloy Cast Steel For Automobile Cold Pressing Die*. Advanced Materials R&D Division, Korea Institute of Industrial Technology, KOREA 2007.
- [6]. Degarmo, E. Paul; Black,J.T. & Kohser, Ronald A. (2003), *Materials and Processes In Manufacturing (9th ed)*, Willey, ISBN 0-471-65653-4.
- [7] Thelning, Karl E, *Steel and Its Heat Treatment*, BoforHandbook, Butterworths, Boston, 1984
- [8]. Hartono,"Studi Pengaruh Temper Single dan Double Temper pada Temperatur 200OC dan 530oC Ketangguhan Baja XW-10 Untuk Aplikasi Material Dies",*Skripsi*, Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2002.
- [9]. RWK Honeycombe, *Steel Microstructure and Properties*, Edward Arnold, London, 1981.
- [10]. Laghtin, Yu Geller.Tool Steel, Min Publishers, Moscow,1978.
- [11]. Krauss, George, *Principal of Heat Treatment of Steel*, ASM, Ohio, 1977.
- [12].W.J. Nam dan H.C.Choi, Effect of Si on Mechanical Properties of Low Alloy Steel. *Proquest Science Journal*, 1998.
- [13]. R. A. Grange, C. R. Hribal, dan L. F. Porter. *Hardness of Tempered Martensite in Carbon and Low Alloy Steel*. Metallurgy Transaction A, Volume 8A, 1977-1978

Optimalisasi Produksi Enzim Selulase oleh *Aspergillus niger* pada Limbah Berlignoselulosa

Adam, Irma Alfiah, Nengah Dwianita Kuswyta Sari, Nur Istianah, Yudhi Apriatmoko, Amelia Islamiati

Jurusan Biologi FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
Gedung H Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp.(031) 5963857, Fax.(031) 5963857.
E-mail: biologi@its.ac.id

Abstract

Cellulase is one of the enzymes needed in several food industry, cosmetics, medicines and fodder. The need for this enzyme to reach one trillion tons per year, so need a way to meet those needs.

*Production of enzymes that can be done in the near future and effectively is by using a mold, for example, fungi of *Aspergillus niger*. These fungi can produce cellulase enzyme in high amounts when grown on medium containing cellulose. Cellulose medium is available in abundance in nature and has not been utilized, namely waste water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and straw. Selulase is one of the enzymes needed in some of the food industry, cosmetics, medicines and fodder. The need for this enzyme to reach one trillion tons per year, so need a way to meet those needs.*

The method used is the environmental condition of growth at pH 6 and pH 8, and the temperature of 300C and 400C. Measurement of enzyme production using the Filter Paperase (FPase) and measured at a wavelength of 450 nm. Of this study is expected to be obtained the maximum possible growth medium to produce the enzyme cellulase.

Keyword : *Aspergillus niger*, selulase, filter paperase, water hyacinth, and straw

Pendahuluan

Selulase digunakan secara luas dalam industri tekstil, deterjen, pulp dan kertas. Selulase juga digunakan dalam pengolahan kopi (Frazier dkk, 1988) dan kadang-kadang digunakan dalam industri farmasi sebagai zat untuk membantu sistem pencernaan. Selulase juga dimanfaatkan dalam proses fermentasi dari biomassa menjadi biofuel, seperti bioethanol. Saat ini, enzim selulase juga digunakan sebagai pengganti bahan kimia pada proses pembuatan alkohol dari bahan yang mengandung selulosa (Zhiliang Fan dkk, 2006).

Selulase dapat diproduksi oleh fungi, bakteri, dan ruminansia. Produksi enzim secara komersial biasanya menggunakan fungi atau bakteri. Fungi yang bisa menghasilkan selulase antara lain genus *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*. Jenis fungi yang biasa digunakan dalam produksi selulase adalah *Aspergillus niger* (Usama dkk, 2008; Immanuel dkk, 2006; Ikram dkk, 2005; Omojasola dkk, 2008; Narasimha G dkk, 2006), *Aspergillus fumigates* (Immanuel dkk, 2006), *Aspergillus nidulans* (Usama dkk, 2008), *Neurospora sitophila* (Kurnia dkk, 2002), *Trichoderma viride* (Ikram dkk, 2005), *Trichoderma longibrachiatum*, dan *Saccharomyces cerevisiae* (Omojasola dkk, 2008).

Indonesia menghasilkan 180 juta ton jerami padi pertahun (Sabiham dan Mulyanto, 2005). Selulosa dalam jerami padi dapat dihidrolisis sehingga menghasilkan glukosa yang dapat difermentasi lebih lanjut menjadi biofuel. Hidrolisis jerami padi dapat dilakukan secara kimiawi (Xiang dkk., 2003), secara

enzimatis (Dewi, 2002) maupun menggunakan mikroorganisme penghasil selulase (Aderemi dkk., 2008).

Berbagai jenis mikroorganisma seperti bakteri, kapang dan aktinomisetes diketahui dapat menghasilkan selulase. Selulase adalah enzim kompleks yang memotong secara bertahap rantai selulosa menjadi glukosa. Enzim ini terdiri dari eksoselulase atau eksobiohidrolase, endoselulase atau endo- β -1,4-glukanase dan β -1,4-glukosidase atau selobiase (Gerhartz, 1990). Menurut Gilbert dan Hazlewood, 1993 dan Sukumaran dkk, 2005, selulase terdiri dari selobiohidrolase (CBH atau 1,4- β -D-glukan selobiohidrolase, E.C 3.2.1.91), endo- β -1,4-glukanase (EG atau endo-2,4- β -D-glukan 4 glukanohidrolase, EC 3.2.1.4) dan β -glukosidase (BG, EC 3.2.1.21). Selulase menghidrolisis selulosa dengan produk utama glukosa, selobiosa dan selooligosakarida. Berbagai kelompok mikroorganisma dari kapang, bakteri dan aktinomisetes dapat menghasilkan selulase. Kapang dari jenis *Trichoderma* dan *Aspergillus* sangat banyak ditemui sebagai penghasil hemiselulase (Gerhartz, 1990). Selain itu, menurut Chandel dkk, 2007, beberapa kelompok mikroorganisma seperti *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, *Aspergillus* dan sebagainya mempunyai aktivitas selulolitik dan hemiselulolitik yang tinggi. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah untuk mendapatkan medium yang tepat untuk menghasilkan enzim selulase dengan *Aspergillus* sp.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Jurusan Biologi FMIPA ITS Surabaya selama Periode April – Mei 2012. Rancangan Penelitian. Persiapan Media Uji Semikuantitatif Selulase. Tahap Uji Semikuantitatif Selulase. Tahap Uji Kuantitatif Enzim. Pengukuran Aktivitas Enzim.

1. Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen. Penelitian ini mengkaji tiga, yaitu:

- Faktor pertama (A) = Jenis limbah (L) dengan 4 taraf ; L1, L2, L3 dan L4
- Faktor kedua (B) = suhu inkubasi (S) dengan 3 taraf ; S1, S2, dan S3
- Faktor ketiga (C) = pH (K) dengan 2 taraf ; K1 dan K2

Data penelitian dianalisa dengan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Uji aktivitas enzim dilakukan untuk melihat pengaruh perlakuan terhadap produksi enzim oleh *Aspergillus niger* pada beberapa limbah dan untuk mengetahui perlakuan mana saja yang terbaik dari hasil pengamatan terhadap konsentrasi pH dan suhu inkubasi. Jika ada perbedaan yang nyata antara perlakuan, maka dilanjutkan dengan uji Duncan.

2. Tahap Persiapan

A. PEMELIHARAAN ISOLAT JAMUR

Isolat jamur *Penicillium* sp. dan *Aspergillus niger* didapatkan dari koleksi kultur murni Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Biologi ITS. Isolat dibuat menjadi 2 subkultur yaitu kultur stok dan kultur kerja.

B. PERSIAPAN SUBSTRAT UNTUK PERTUMBUHAN

Substrat yang digunakan adalah tongkol jagung, bagase tebu, jerami padi dan eceng gondok. Substrat diberi perlakuan sebelum digunakan sebagai medium. Masing-masing substrat dikeringkan di bawah sinar matahari. Substrat sebanyak 5 kg dipotong ukuran ± 1 cm, dan digiling dengan mesin penggiling (Anwar, 2010). Dioven pada suhu 75 oC selama 48 jam (Sun, 2011)

C. PERSIAPAN MEDIA PERTUMBUHAN

Media yang digunakan terdiri dari larutan garam mineral dan nitrogen organik untuk meningkatkan produksi enzim. Komposisi media dasar ini terdiri dari:

Tabel 1. Komposisi Medium

| Komponen | Komposisigram /liter aquades |
|---------------------------------------|------------------------------|
| <i>Yeast Ekstrak</i> | 1,4 |
| KH ₂ PO ₄ | 2 |
| CaCl ₂ . 2H ₂ O | 0,34 |
| MgSO ₄ .7H ₂ O | 0,3 |
| MnSO ₄ .H ₂ O | 0,0016 |
| FeSO ₄ .7H ₂ O | 0,005 |
| ZnSO ₄ .7H ₂ O | 0,0014 |
| CoCl ₂ .6H ₂ O | 0,002 |

3. Tahap Produksi Enzim

Media pertumbuhan sebanyak 12,5 ml ditambah dengan 5 gram substrat (jerami padi dan eceng gondok) (Widjaja, 2009). Medium diatur pada pH 6 dan pH 8. Kemudian disterilkan dalam autoclave pada suhu 121 oC tekanan 1,5 atm selama 15 menit. Selanjutnya starter *Penicillium* sp. dan *Aspergillus niger* 3 ml diinokulasikan kedalamnya (Liu, 2007) . Diinkubasi selama 4 hari (Pericin, 2008; Purwadaria, 2010; Karthikeyan, 2010; Singh *et al.*, 2011). Suhu diatur pada 30 °C dan 40°C.

4. Ekstraksi Enzim kasar

Ekstraksi enzim dilakukan pada hasil fermentasi dengan cara menambahkan larutan pengeksrak *tween* 80 0,1 % sebanyak 50 ml ke dalam kultur yang telah diinkubasi (Widjaja, 2009). Kemudian disentrifuge dengan kecepatan 4000 rpm selama 15 menit untuk menghasilkan filtrat enzim kasar (Charita, 2012).

5. Pengujian aktivitas enzim filter paperase (FP-ase)

Pengukuran aktivitas enzim *filter paperase* menggunakan metode Ghose (1987). Metode yang digunakan yaitu kertas saring Whatman no. 1 ukuran 1x6 cm dimasukkan ke dalam 1 ml 0,05 M sodium buffer sitrat (pH 4,8) dan 0,5 ml filtrat enzim kasar ditambahkan pada diinkubasi pada suhu 50oC selama 1 jam pada *water bath*. Kadar gula pereduksi terlarut diukur dengan menggunakan metode DNS (Miller, 1959), yaitu menambahkan larutan DNS sebanyak 3 ml, dan dipanaskan pada *water bath* dengan suhu 100°C selama 5 menit sampai terbentuk warna kuning kecoklatan. Kemudian didinginkan pada es selama 10 menit, kemudian diukur absorbansi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm.

Nilai absorbansi hasil pengujian enzim dibandingkan dengan kurva standar glukosa dengan konsentrasi 0-2 mg/ml. Aktivitas enzim dinyatakan dalam satuan U (unit) dengan cara mengkonversikan absorbansi gula pereduksi yang terbentuk

berdasarkan kurva standar glukosa. Aktivitas enzim diukur dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Aktivitas Enzim Fp-ase} = \frac{\text{konsentrasi glukosa} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{Berat molekul glukosa} \times \text{waktu inkubasi}}$$

(Irawan, 2008)

Keterangan:

Konsentrasi glukosa = dihitung berdasarkan regresi pada kurva standar glukosa

Faktor pengenceran = 0,33

Berat molekul glukosa = 180

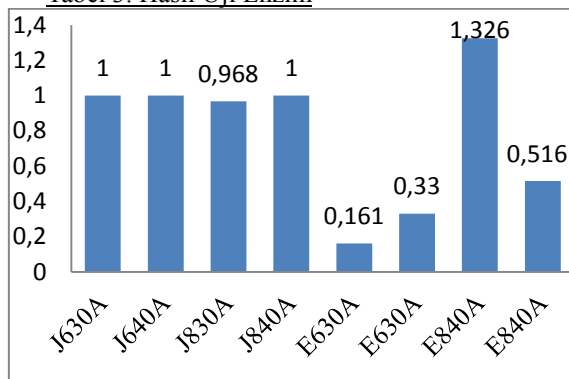
Waktu inkubasi = 60 menit

Hasil

Penelitian ini diharapkan menghasilkan luaran berupa artikel ilmiah yang berisikan medium yang paling tepat menghasilkan enzim selulase. Secara teknis akan mendukung keberhasilan proses perombakan limbah yang mengandung lignoselulosa di lingkungan pertanian

Setelah dilakukan tahap tahap metodologi yang disebutkan di atas didapatkan hasil seperti yang tertera pada table 3 sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Uji Enzim



Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa enzim selulase paling maksimum dihasilkan oleh *Penicillium* sp. yang ditumbuhkan pada pH 8 dan suhu 40 °C.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat dibuktikan bahwa *Aspergillus niger* merupakan agensia hayati yang dapat menghasilkan enzim selulase dan *Eceng Gondok* merupakan medium yang baik bagi *Aspergillus niger* pada suhu 40°C dengan pH 8.

Daftar Pustaka

- Abdulla, H.M. 2007. Enhancement of Rice Straw Composting by Lignocellulolytic Actinomycete Strains. *Int. J. of Agriculture & Biology*. Vol. 9(1), 106-109.
- Bin Yang. 2006. Treatment to Enhance Enzymatic Hydrolysis of Cellulose in Lignin Containing Substrate. Wiley InterScience, DOI: 10.1002/bit.20750
- Chandel, 2007. Economics and Environmental impact of Bioethanol Production Technologies : *An Sci*. 578-595.
- Chen Xia. 2007. Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol 59, pp. 85–89
- Dewi.2002. Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian Secara Enzimatik, *Akta Agrosia*, Vol. 5, pp. 67-71.
- Dewi.2002. Pengaruh Pengecilan Ukuran dan Sumber Limbah Pertanian pada Hidrolisis secara Enzimatik. *Akta Agrosia*, Vol. 5, pp. 14-21.
- Hamelinck.2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle and long-term, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, pp. 384-410.
- Ikhsan. 2008. Pengembangan Bioreaktor Hidrolisis Enzimatis untuk Produksi Bioethanol dari Biomassa Jerami Padi.
- Jakobsson.2000. Optimization of the pretreatment of wheat straw for production of bioethanol, Department of Chemical Engineering, Lund University.

Kaji Prospek Pemanfaatan Turbin Angin Kecepatan Rendah untuk Pembangkit Energi Listrik di Desa Langi Kepulauan Simeulue

Anan Niazi¹, Hamdani², Irwansyah²

- 1) Program Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Syiah Kuala, (23111) Banda Aceh,
- 2) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, (23111) Indonesia
Jln. Syech Abdul Rauf No.7 Banda Aceh, e-mail : hamdani_umar@yahoo.com

ABSTRAK

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan BRR NAD-Nias pada tahun 2008, diperoleh informasi bahwa ada 24 desa tersebar dalam 6 kecamatan di Kabupaten Simeulue belum memperoleh pelayanan energi listrik dari PLN. Pada saat ini kebutuhan listrik di kabupaten simeulue disediakan oleh PLTD Lasikin dengan kapasitas mampu 6,3 MW, dengan beban pucak 3,3 MW, kapasitas untuk pemeliharaan 1,1 MW dan operasi 0,9 MW, maka terjadi surplus daya 1,1 MW. Letak desa yang jauh dari pusat pembangkit merupakan kendala utama PLN dalam menyediakan energi listrik untuk seluruh desa, terutama kecamatan Alfian dengan ibu kotanya Desa Langi yang letaknya mencapai 132 km dari ibukota kabupaten Simeulue. Ketidak tersedianya energi listrik menyebabkan kurangnya minat masyarakat untuk mengembangkan kegiatan ekonomi yang produktif di perdesaan, yang pada gilirannya mendorong terjadinya peningkatan kemiskinan. Salah satu solusi yang dapat ditempuh adalah pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki desa tersebut untuk membangkitkan energi listrik. Dari hasil analisis awal data kecepatan angin yang diperoleh dari hasil pengukuran diperoleh kecepatan angin rata-rata sepanjang pantai mencapai 4,2-5,6 m/s pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut. Berdasarkan hasil analisis kelayakan teknis dan ekonomis menggunakan software HOMER, dapat disimpulkan bahwa penggunaan turbin angin kecepatan rendah yang dihibrid dengan pembangkit listrik tenaga surya sangat layak untuk penyediaan listrik di Desa Langi dengan daya pembangkit 65 KW.

Kata Kunci: prospek, turbin angin, energi angin, kecepatan rendah, kepulauan Simeulue

PENDAHULUAN

Kabupaten Simeulue terletak pada posisi koordinat 02°15' - 02°55' Lintang Utara (LU) dan 95°40' - 96°30' Bujur Timur (BT). Kabupaten ini terdiri dari sekitar 41 pulau besar dan kecil, termasuk pulau Simeulue dengan total luas wilayah mencapai 205.148,63 ha. Saat ini, wilayah kabupaten Simeulue dibagi dalam 8 (delapan) kecamatan, yaitu Simeulue Timur, Simeulue Tengah, Simeulue Barat, Teupah Selatan, Salang, Teupah Barat, Teluk Dalam dan Alfian [1].

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan BRR NAD-Nias pada tahun 2008, diperoleh informasi bahwa ada 24 desa yang tersebar dalam 7 kecamatan di Kabupaten Simeulue yang belum memperoleh pelayanan energi listrik dari PLN, yang salah satunya adalah kecamatan Alfian [2].

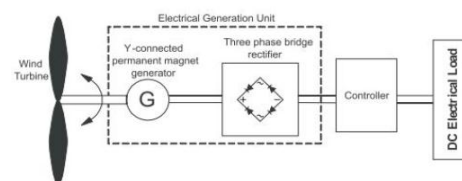
Kecamatan Alfian dengan ibu kotanya Desa Langi merupakan kecamatan yang letaknya mencapai 132 km dari ibukota kabupaten Simeulue. Sampai saat ini sarana transportasi yang dapat digunakan menuju desa dapat ditempuh dengan transportasi darat dan laut. Penghasilan utama masyarakat desa Langi adalah sektor pertanian dan perikanan. Komoditi utama sektor pertanian adalah padi, kelapa dan cengkeh.

Letak desa yang jauh dari pusat kegiatan ekonomi menyebabkan mahalnya biaya transportasi distribusi komoditi desa. Hal ini akan berpengaruh langsung dalam peningkatan pendapatan masyarakat desa Langi. Disisi lain tidak tersedianya energi

listrik juga menyebabkan kurangnya minat masyarakat untuk mengembangkan kegiatan ekonomi yang produktif di perdesaan, yang pada gilirannya kondisi ini mendorong terjadinya peningkatan kemiskinan.

Penyediaan energi listrik berbahan bakar minyak, juga akan menyebabkan tingginya biaya produksi pengolahan hasil pertanian. Peningkatan pendapatan masyarakat Desa Langi hanya dapat dilakukan dengan jalan pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki desa tersebut untuk membangkitkan energi listrik. Letak Desa Langi dipesisir yang berhadapan dengan lautan lepas menyebabkan desa tersebut memiliki potensi energi angin (bayu) yang sangat baik.

Pembangkit energi angin mengubah energi kinetik yang dihasilkan angin menjadi energi listrik. Komponen utama pembangkit energi angin adalah turbin angin (*wind turbine*), unit generator listrik (*electrical generation unit*) dan pengendali (*controller*) seperti terlihat pada gambar 1 [3].



Gambar 1. Komponen sistem pembangkit energi angin [3]

Besarnya energi kinetik angin yang transfer ke rotor tergantung pada luar area rotor, kecepatan angin dan kerapatan udara, yang bervariasi dengan ketinggian. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya energi angin adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (1)$$

dimana P adalah daya angin (watt), ρ adalah densitas udara, A adalah luas daerah yang menyapu turbin angin (luas area rotor), dan V adalah kecepatan angin.

Besarnya daya angin yang dapat dibangkit secara aktual dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis rotor yang digunakan, airfoil sudu, kerugian gesekan, dan kerugian dalam peralatan lain yang terhubung ke generator. Dengan demikian, daya yang tersedia dapat ditentukan dari :

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2)$$

di mana C_p adalah faktor kapasitas dari turbin angin. Hal ini juga memperlihatkan bahwa turbin angin hanya akan beroperasi pada efisiensi maksimum pada sebagian kecil dari waktu yang berjalan, karena variasi kecepatan angin.

Tulisan ini akan memberikan penjelasan lengkap hasil analisis kelayakan pemanfaatan potensi energi angin untuk pembangkit listrik di kecamatan langi. Analisis yang dilakukan untuk mengkaji kemungkinan pemanfaatan energi angin yang dihibrid dengan energi surya.

METODE ANALISIS

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk melakukan kajian mengetahui kelayakan pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik di deas Langi pulau Simeulue provinsi Aceh. Untuk mencapai tujuan tersebut telah dilakukan kegiatan meliputi :

1. Pengumpulan data melalui survei; telah dilakukan kunjungan lapangan ke desa langi untuk melakukan pengukuran potensi angin dan mendapatkan informasi tentang kebutuhan energi listrik. Pengumpulan data kebutuhan listrik dilakukan dengan cara wawancara dengan kepala desa setempat, dan pihak instansi terkait di kecamatan.
2. Pengukuran kecepatan angin dilakukan pada posisi yang memungkinkan dipasangnya instalasi pembangkit listrik tenaga angin. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer.
3. Analisis potensi energi angin untuk evaluasi produksi energi listrik yang dapat dibangkitkan dilakukan menggunakan software HOMER [4].
4. Tahap terakhir adalah analisis teknis dan ekonomi. Dari hasil analisis ini akan ditentukan kelayakan pemanfaatan energi angin untuk

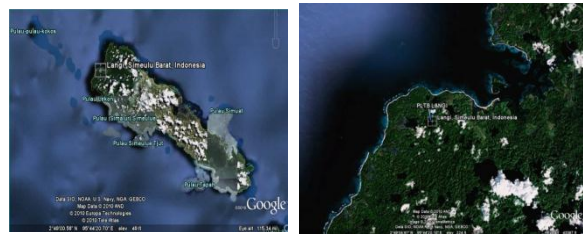
pembangkit listrik di Desa Langi Kabupaten Simeulue.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Energi Listrik Desa Langi

Wilayah administrasi Kabupaten Simeulue terdiri dari 8 kecamatan yang terbagi atas 11 kemukiman dan 138 desa/kampung. Data hasil survei menunjukkan bahwa rasio elektrifikasi Kabupaten Simeulue adalah 82,6%, salah satu kabupaten yang masih rendah tingkat rasio elektrifikasinya dalam Provinsi Aceh.

Desa Langi ditempati oleh 182 Kepala Keluarga dengan jumlah penduduk 831 orang yang terdiri dari 386 orang laki-laki dan 445 orang perempuan. Mata pencaharian utama penduduk adalah petani dan nelayan. Gambar 1 memperlihatkan peta kabupaten Simeulue dan Desa Langi.



Gambar 1. Peta Kabupaten Simeulue dan desa Langi

Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin diharapkan dapat melayani kebutuhan : 1). Perumahan penduduk, 2). Fasilitas Umum. 3). Penggunaan oleh industri kecil, dan 4). Pengembangan pada masa yang akan datang.

Untuk setiap perumahan penduduk disediakan daya listrik sebanyak 250 Watt dengan rincian untuk penerangan 100 Watt dan peralatan elektronik lainnya 150 Watt.

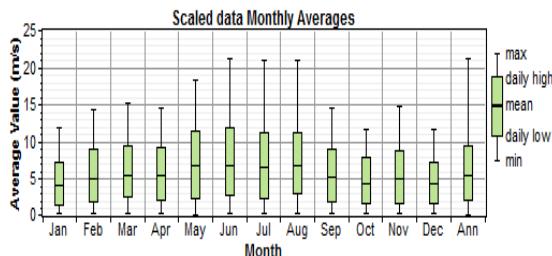
Untuk kebutuhan pada fasilitas umum disediakan masing-masing 300 Watt. Dan untuk penggunaan oleh industri kecil adalah 10 % dari total kebutuhan perumahan dan fasilitas umum. Sedangkan untuk pengembangan masa yang akan datang disediakan 20 % dari total perumahan, fasilitas umum dan industri kecil. Hasil perhitungan dapat ditabulasikan sebagai berikut terlihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan energi Listrik Desa Langi

| No. | Kebutuhan | Total (watt) |
|-----|-------------------------------------|---------------|
| 1 | Perumahan Penduduk | 45.500 |
| 2 | Fasilitas Umum | 3.300 |
| 3 | Penggunaan oleh industri kecil | 4.880 |
| 4 | Pengembangan masa depan (20%) | 10.736 |
| | Total Kebutuhan Daya listrik | 64.416 |

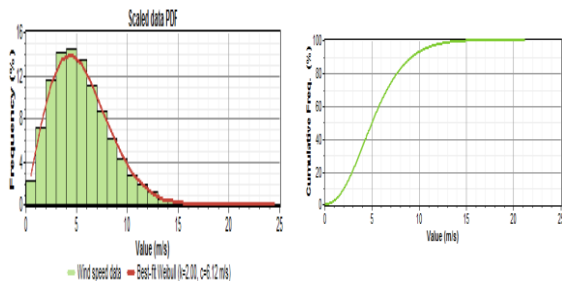
Potensi Energi Angin

Berdasarkan data hasil pengukuran kecepatan angin yang dilakukan pada posisi koordinat 02°82 Lintang Utara (LU) dan 95°72 Bujur Timur (BT), dapat ditentukan prediksi kecepatan angin bulanan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi Kecepatan angin rata-rata tahunan

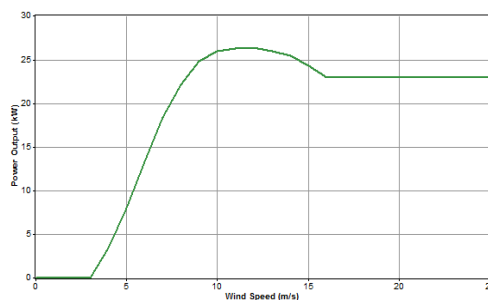
Dari Gambar terlihat kecepatan angin maksimum terjadi pada bulan Juni sampai Agustus, dan kecepatan angin rata-rata 5,472 m/s. Dan distribusi kecepatan angin berdasarkan distribusi Weibull diberikan dalam Gambar 3. Kecepatan angin 4-6 m/s memiliki frekuensi terbesar untuk terjadi yaitu 14,5%. Dan dari grafik frekuensi kumulatif diperoleh kecepatan angin 3 m/s kemungkinan dapat terjadi dengan frekuensi diatas 11 %, maka dapat disimpulkan turbin angin dengan *cut in speed* 3 m/s layak untuk dipasang di desa Langi kabupaten Simeulue.



Gambar 3. Distribusi kecepatan distribusi Weibull

Pemilihan Turbin Angin

Pertimbangan untuk pemilihan turbin angin yang akan dipasang sangat ditentukan dari anggaran dan potensi energi yang tersedia. Pada kajian ini, dipilih turbin angin dengan daya 25 KW, sebanyak 2 unit dan 10 KW sebanyak 2 unit. Gambar 4 memperlihatkan kurva daya turbin 25 Kw.



Curve made at 25m hub height

Available towers: 24/30/36m

Rotor : 20m diameter, 32 rpm

Cold cut-in wind speed: 3.5 m/s

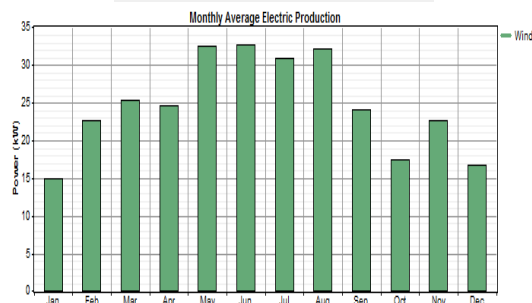
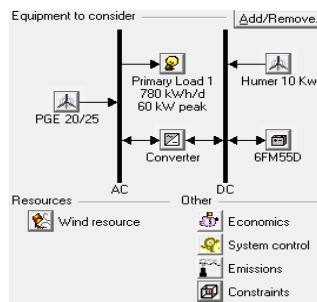
Low wind speed cut-out: 1.7 m/s

Rated power wind speed: 25 kW @ 9 m/s

High wind speed cut-out: 25 m/s

Gambar 4. Kurva daya turbin 25 Kw

Beban puncak pemakaian listrik oleh masyarakat untuk penerangan diperkirakan akan terjadi pukul 18.00 sore hari sampai pukul 6.00 pagi, dan pada siang pemakaian listrik untuk perumahan hanya 20 % dari beban maksimum. Maka pemakaian listrik rata-rata perhari adalah 78 kWh/d, dengan daya rata-rata 32.5 KW, daya puncak mencapai 59.9 KW, faktor beban 54,3 %. Keluaran daya bulanan yang mampu diberikan oleh turbin angin di tunjukkan dalam Gambar 5.

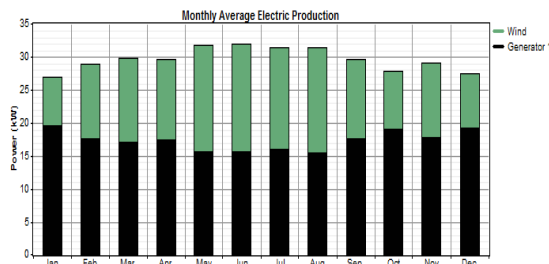
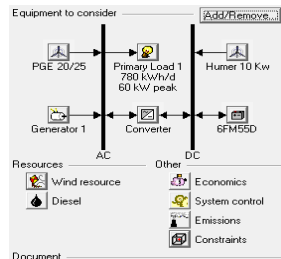


Gambar 5. Kurva produksi listrik turbin angin

Dari gambar terlihat bahwa daya maksimum hanya tercapai pada bulan Mei, Juni dan Agustus, sedangkan pada bulan-bulan lainnya turbin angin

tidak mampu memberikan daya sebagaimana kebutuhan. Salah satu metode untuk mendapatkan daya listrik sesuai kebutuhan adalah dengan menambah pembangkit listrik tenaga diesel dengan daya 25 KW sebanyak 1 unit. Dan hasil simulasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.

2. BRR NAD-Nias, 2008, *Laporan Studi Potensi Energi Listrik Alternatif di Pedesaan Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam*, Banda Aceh
3. L. L. Freris, 1990, *Wind Energy Conversion Systems*, Prentice Hall International
- Gilman, P., Lambert, T. 2005. *Homer the micropower optimization model software started guide*. National Renewable Energy Laboratory of United States Government.



Gambar 6. Kurva produksi listrik sistem hibrid turbin angin-motor diesel

Dari gambar terlihat bahwa dengan melakukan sistem hibrid antara turbin angin dengan motor diesel, akan mampu menyediakan daya setiap bulan sebagaimana diharapkan, dengan rincian produksi listrik dari turbin angin 108,139 kWh/yr atau 42 % dari total produksi, dan motor diesel memproduksi 151,649 kWh/yr atau 58 %, dengan pemakaian bahan bakar 55.432 liter/yr, untuk motor diesel dengan pemakaian bahan bakar spesifik 0.366 liter/kWh.

Untuk memperoleh perbandingnya jika motor diesel yang digunakan untuk penyediaan listrik Desa Langi dengan daya generator 45 kW, akan membutuhkan bahan bakar sebanyak 103.970 Liter per tahun, jika per liter Rp. 6.000, akan membutuhkan biaya untuk penyediaan diesel lebih dari 620 juta rupiah.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengukuran potensi energi angin di Desa Langi layak untuk dipasang pembangkit listrik tenaga angin. Akan tetapi untuk penyediaan daya listrik sesuai dengan kebutuhan masyarakat desa Langi, perlu dilakukan pemasangan sistem hibrid turbin angin-motor diesel. Untuk penentuan kelayakan secara teknis dan ekonomis perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan melakukan perbandingan penggunaan tipe dan jumlah unit turbin yang akan dipasang.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPS Kabupaten Simeulue, 2010, *Simuelue Dalam Angka*, Simelue Provinsi Aceh

Optimasi Desain Alat Pengering Ikan Air Tawar dengan Kapasitas 20 kg Memanfaatkan Energi Surya

Anhar Khalid*), Yogi Sirodz Gaos**), Eka Maulana**), Agri Suwandi**)

*) Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Banjarmasin

***) Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasila

Abstract

The design of solar fish drier have a purpose to overcome the problems faced by fishermen in producing quality dried fish with a water content ranging from 10-14%. During this drying process is done in traditional fish so it has a weakness, especially of the quality of the water content of fish that do not meet the conditions set and the dryer is old and not hygienic. Research and development is carried out through instrument approach utilizing the method of optimization with CFD in designing and analyzing the thermal dryer system it can lower the water content of 70% to 10% in less than 8 hours. The results obtained by thermal analysis studies need heat to dry the fish that had levels of 10% was generated from 54 823 kJ thermal collector area of 3.65 m². The free parameters are optimized in the design of the collector at a position angle of 10°, 15° and 20°, and the allowable temperature of the drying chamber at 50 ° C, 55 ° C and 60 ° C. A review of thermal optimization using CFD obtained technical data that the fastest drying time during the 7:11 hour with the operating conditions of 60 ° C temperature and collector tilt angle of 15°.

Keywords: solar collector, temperature, velocity, water conten.

PENDAHULUAN

Sebagai negara yang memiliki banyak pulau, negara Indonesia memiliki sungai-sungai yang luas dan panjang, berarti menghasilkan banyak ikan sungai yang beraneka ragam. Ikan merupakan bahan makanan yang banyak di konsumsi masyarakat, ikan banyak di sukai karena manfaat untuk kesehatan tubuh yang mempunyai kandungan protein yang tinggi dan kandungan lemak yang lebih rendah di banding sumber protein yang lain. Namun ikan cepat membusuk karena adanya bakteri dan enzim jika di biarkan begitu saja tanpa proses pengawetan.

Metode umum yang kebanyakan masih di pakai oleh petani di negara tropis untuk mengawetkan hasil tangkapan ikan mereka dengan menggunakan pengeringan secara langsung terkena sinar matahari (open sun drying). Dikarenakan metode ini sangat sederhana dan murah sekali. Metode ini membutuhkan hampir tanpa investasi. Dengan kata lain kualitas produk yang yang di keringkan sangat miskin dan sebagai hasil produk dalam banyak kasus telah menjadikan harga penjualan menjadi merosot. Kontaminasi benda-benda asing dan gangguan serangga terjadi sebaik mutu pengeringan tak rata jenis pengeringan sinar matahari langsung. Selama musim penghujan hasil panen tidak dapat di keringkan untuk mencapai kandungan uap air untuk penyimpanan yang aman selama kelembapan relatif tinggi dari udara ambient dalam kombinasi sepanjang periode pengeringan yang tidak cukup.

Di daerah Kabupaten Hulu Sungai Selatan tepatnya d Desa Nagara sekitar kurang lebih 170 Km dari kota Banjarmasin adalah penghasil ikan sungai terbesar di Kalimantan Selatan.

Pengeringan tradisional ini memerlukan tempat yang luas karena ikan yang di keringkan tidak bisa di tumpuk saat di jemur. Pada saat udara luar terlalu

kering dan panas, pengeringan dapat terjadi sehingga terjadi case hardening (permukaan daging ikan mengeras) dan banyak memerlukan tenaga kerja.

Berdasarkan hal diatas maka diperlukan suatu penelitian tentang pengering ikan yang efisien untuk menurunkan kebutuhan energi dengan memanfaatkan energi surya. Dengan penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat antara lain:

1. Mengurangi kerusakan bahan/komoditi yang dikeringkan, yang disebabkan oleh jamur dan serangga sehingga kualitas dan kuantitas produk menjadi lebih baik.
2. Adanya ruang pengering bisa mencegah bahan setengah kering menjadi basah kembali karena embun atau air hujan.
3. Memperpendek waktu operasi selama proses pengeringan sehingga menghemat waktu dan meningkatkan kapasitas bahan yang dikeringkan.
4. Dengan Alat pengering energi surya dapat meningkatkan penghasilan lebih dari pada menggunakan cara tradisional.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan didaerah Kabupaten Hulu Sungai Selatan di kota Banjarmasin yang dilakukan pada bulan Agustus 2011 – Januari 2012. Aktivitas penelitian dimulai dengan mencatat data studi lapangan yaitu temperatur udara dan RH (kelembaban) udara dan data – data studi literatur untuk digunakan dalam analisis perhitungan teknis.

alat pengering ikan serta melakukan perancangan desain alat pengering ikan sesuai dengan yang dibutuhkan yaitu berkapasitas 20 kg.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur parameter-parameter yang ada berkaitan dalam analisis perhitungan teknis alat pengering ikan, yaitu :

- Mengukur temperatur udara di kota Banjarmasin
- Mengukur RH (kelembaban) udara di kota Banjarmasin

Adapun pengolahan data yang diperoleh secara kuantitatif dan juga data dari studi literatur diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan berdasarkan pustaka yang digunakan. Selanjutnya dilakukan perancangan desain alat pengering berdasarkan hasil perhitungan kemudian disimulasi menggunakan batuan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk dianalisis penyebaran suhu di alat pengering ikan yang telah didesain.

Berikut diagram alir dari penelitian yang dilakukan:

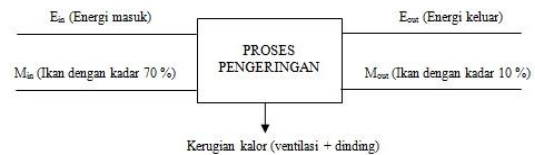


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Analisis Aspek Teknis Alat Pengering Ikan

Dalam analisa teknis alat pengering ikan dilakukan analisis sistem perpindahan panas yang terjadi di dalam alat pengering ikan yang bersumber dengan menggunakan energi surya, seperti pada gambar 2. dibawah ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pada sistem ini akan dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

1. Kadar Air pada ikan yang akan diuapkan
2. Keseimbangan energi yang terjadi didalam sistem
3. Kebutuhan kalor untuk penguapan
4. Kerugian kalor pada dinding
5. Kerugian kalor pada ventilasi
6. Kebutuhan kalor untuk meningkatkan suhu ruang
7. Kebutuhan kalor total

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yang berasal dari literatur yaitu:

Perhitungan massa air ikan dan massa air yang diuapkan serta massa daging ikan.

- a. Massa air dalam ikan ($M1$):

$$M1 = Wb \times Mib \quad (1)$$

Dimana Wb adalah kadar air ikan basah (70%), Mib adalah massa ikan basah (kg).

- b. Massa air yang diuapkan ($M2$):

$$M2 = (Wb - Wk) \times Mib \quad (2)$$

Dimana Wk adalah kadar air ikan kering (10%), Mib adalah massa ikan basah (kg)

- c. Massa daging ikan ($M3$):

$$M3 = (100\% - Wb) \times Mib \quad (3)$$

Dimana Wb adalah kadar air ikan basah (70%), Mib adalah massa ikan basah (kg)

Perhitungan untuk penguapan (Q_k)

- a. Kalor untuk memanaskan air (Q_{k1}):

$$Q_{k1} = M1.C_{p_{air}}.(T_p - T_u) \quad (4)$$

Dimana $M1$ adalah masa air dalam ikan (kg), $C_{p_{air}}$ adalah kapasitas panas air (kkal/kg°C), T_p adalah suhu ruang pengering (°C), T_u adalah suhu udara (°C)

- b. Kalor untuk menguapkan air (Q_{k2}):

$$Q_{k2} = M2.L_{air} \quad (5)$$

Dimana $M2$ adalah massa air yang diuapkan (kg), L_{air} adalah kapasitas air (kkal/kg°C)

- c. Kalor untuk menaikkan suhu ikan (Q_{k3}):

$$Q_{k3} = M3.C_{p_{ikan}}.(T_p - T_u) \quad (6)$$

Dimana $M3$ adalah massa daging ikan (kg), $C_{p_{ikan}}$ adalah kapasitas panas ikan (kkal/kg°C),

T_p adalah suhu ruang pengering ($^{\circ}\text{C}$), T_u adalah suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

- d. Jadi untuk kalor yang dibutuhkan untuk penguapan kadar air dalam ikan adalah:

$$Q_k = Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} \quad (7)$$

Perhitungan rugi kalor (Q_{rk})

- a. Kerugian pada ruang pengering (Q_{rd1}):

$$Q_{rd1} = \frac{k \cdot A_{rp} \cdot \Delta T}{dx} \quad (8)$$

Dimana k adalah konduktivitas termal Al (W/m.K), A_{rp} adalah Luas alat pengering (m^2), ΔT adalah beda suhu ruang pengering dengan udara ($^{\circ}\text{C}$), dx adalah tebal plat (m).

- b. Kerugian pada ruang pemanas (Q_{rd2}):

$$Q_{rd2} = \frac{k \cdot A_{rpn} \cdot \Delta T}{dx} \quad (9)$$

Dimana k adalah konduktivitas termal Al (W/m.K), A_{rpn} adalah Luas alat pemanas (m^2), ΔT adalah beda suhu ruang pengering dengan udara ($^{\circ}\text{C}$), dx adalah tebal plat (m).

- c. Kerugian pada ventilasi (Q_{rv}):

$$Q_{rv} = N \cdot V_{spht} \cdot \Delta T \quad (10)$$

Dimana N adalah Perubahan volume udara, V_{spht} adalah Kecepatan kalor spesifik udara ($\text{kJ/m}^3.\text{K}$), ΔT adalah beda suhu ruang pengering dengan udara ($^{\circ}\text{C}$), dx adalah tebal plat (m).

- d. Jadi rugi kalor pada sistem adalah:

$$Q_{rk} = Q_{rd1} + Q_{rd2} + Q_{rv} \quad (11)$$

Perhitungan kalor untuk memanaskan udara (Q_u):

$$Q_u = M_{udara} \cdot C_{p_{udara}} \cdot (T_p - T_u) \quad (12)$$

Dimana M_{udara} adalah massa udara (kg), $C_{p_{udara}}$ adalah kapasitas panas udara ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$), T_p adalah suhu ruang pengering ($^{\circ}\text{C}$), T_u adalah suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

Perhitungan kalor keseluruhan pada alat pengering ikan (Q_{total}):

$$Q_{total} = Q_k + Q_{rk} + Q_u \quad (13)$$

Menentukan Nilai I_{bt} :

I_{bt} adalah jumlah intensitas matahari pada permukaan miring dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I_{bt} = \frac{I \sin \delta \sin(\theta - \beta) + \cos \delta \cos(\theta - \beta) \cos \omega}{\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega} \quad (14)$$

Dimana Sudut δ (deklinasi) yaitu sudut yang dibentuk oleh matahari denga bidang ekuator sudut

(θ) merupakan sudut antara garis lintang terhadap matahari ($^{\circ}$), β merupakan sudut kemiringan kolektor terhadap matahari, Sudut (ω) yaitu sudut jam matahari per tiap garis lintang, dimana per $15^{\circ} =$ per 1 jam.

Perhitungan Komulatif Laju Penurunan Kadar Air Dalam Ikan:

$$M_k = \sum_{n=1}^n \frac{hA(T_n - T_s)}{hfg} \cdot 3600 \quad (15)$$

Dimana h adalah koefisien perpindahan kalor udara (kJ/jam), A adalah luas permukaan pengering (m^2), T_n adalah suhu ruang pengering ($^{\circ}\text{C}$), T_s adalah suhu permukaan ikan ($^{\circ}\text{C}$), hfg adalah panas laten yang diukur pada suhu T_n (kJ/kg), h adalah koefisien perpindahan konveksi ($\text{w/m}^2\text{C}$) dan n adalah waktu pengeringan ke n (jam)

HASIL

Dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas maka didapat data optimasi I_{bt} (lihat tabel 1):

Tabel 1. Data optimasi I_{bt} (MJ/m^2) dengan sudut kemiringan 10°C , 15°C , dan 20°C untuk Tahunan

| Lokasi | Kemiringan (β°) | Jan | Feb | Mar |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| BMKG Banjarmasin | 10 | 4.54 | 5.68 | 10.00 |
| | 15 | 5.31 | 8.31 | 12.13 |
| | 20 | 5.00 | 9.28 | 12.44 |
| | Kemiringan (β°) | Apr | Mei | Jun |
| | 10 | 12.00 | 12.31 | 13.22 |
| | 15 | 11.21 | 12.45 | 14.00 |
| | 20 | 11.33 | 13.11 | 14.34 |
| | Kemiringan (β°) | Jul | Ags | Sept |
| | 10 | 12.45 | 14.43 | 14.23 |
| | 15 | 13.40 | 15.00 | 14.44 |
| | 20 | 14.90 | 14.50 | 14.85 |
| | Kemiringan (β°) | Okt | Nov | Des |
| 10 | 5.35 | 6.16 | 8.71 | |
| 15 | 5.58 | 7.10 | 7.77 | |
| 20 | 6.77 | 6.87 | 7.90 | |

Pada tabel 2 diperlihatkan hasil perhitungan waktu untuk lama pengeringan dengan suhu pengeringan yang berbeda-beda, yaitu 50°C , 55°C dan 60°C , makak didapat waktu pengeringan tercepat antara 7 sampai dengan 8 jam.

Tabel 2. Hasil Perhitungan

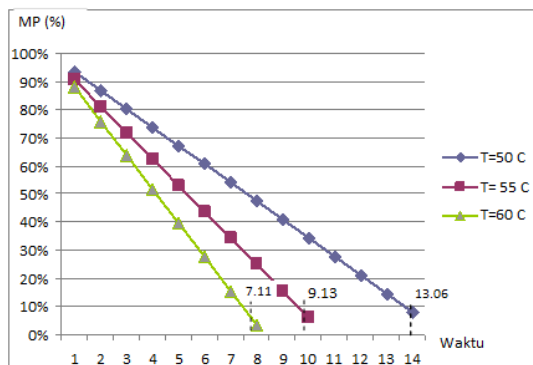
| Waktu Pengeringan | Mt | | | Kadaryang dihilangkan | Lama Pengeringan (jam) | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-----------------------|------------------------|-------|------|
| | 50°C | 55°C | 60°C | | 50°C | 55°C | 60°C |
| 1 | 0.92 | 1.31 | 1.69 | 12 Kg | | | |
| 2 | 1.84 | 2.63 | 3.38 | | | | |
| 3 | 2.76 | 3.94 | 5.07 | | | | |
| 4 | 3.68 | 5.25 | 6.75 | | | | |
| 5 | 4.60 | 6.57 | 8.44 | | | | |
| 6 | 5.51 | 7.88 | 10.13 | | | | |
| 7 | 6.43 | 9.20 | 11.82 | | | | 7.11 |
| 8 | 7.35 | 10.51 | 13.51 | | | | |
| 9 | 8.27 | 11.82 | 15.20 | | | 9.13 | |
| 10 | 9.19 | 13.14 | | | | | |
| 11 | 10.11 | | | | | | |
| 12 | 11.03 | | | | | | |
| 13 | 11.95 | | | | | | |
| 14 | 12.87 | | | | | 13.06 | |

Waktu Lama Pengeringan

Tabel 3 dan grafik 1 menunjukkan besarnya persentase (%) penurunan kadar air dalam ikan yang dibandingkan dengan waktu pengeringan serta suhu pemanasan dalam ruang pengering.

Tabel 3. % Penurunan Kadar Air Dalam Ikan

| Waktu Pengeringan | Mp | | |
|-------------------|------|------|------|
| | 50°C | 55°C | 60°C |
| 1 | 93% | 91% | 88% |
| 2 | 87% | 81% | 76% |
| 3 | 80% | 72% | 64% |
| 4 | 74% | 62% | 52% |
| 5 | 67% | 53% | 40% |
| 6 | 61% | 44% | 28% |
| 7 | 54% | 34% | 16% |
| 8 | 47% | 25% | 4% |
| 9 | 41% | 16% | |
| 10 | 34% | 6% | |
| 11 | 28% | | |
| 12 | 21% | | |
| 13 | 15% | | |
| 14 | 8% | | |



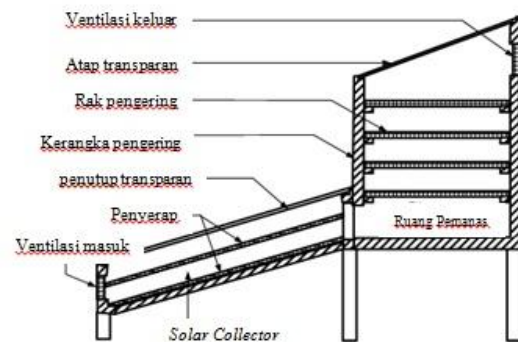
Grafik 1. Penurunan Kadar Air Dalam Ikan

Desain Ukuran Ruang Pengering Ikan

Dengan menggunakan data hasil perhitungan beban kalor yang dibutuhkan untuk alat pengering

ikan berkapasitas 20 kg, dimana Q_{total} diperoleh 35.634,96 kJ/siklus pengeringan dan juga didapatkan kebutuhan kolektor untuk mendapatkan panas sebesar 1781,75 kJ/siklus untuk kebutuhan kolektor yang digunakan mengeringkan 1 kg ikan air tawar basah berdasarkan perhitungan untuk memperoleh energi untuk mengeringkan ikan air tawar selama 7,11 jam maka setara dengan kolektor 3,65 m².

Berdasarkan hasil tersebut penulis melakukan desain alat pengering ikan air tawar dengan menggunakan energi surya sebagai penghasil panas yang kemudian panas tersebut digunakan untuk mengeringkan ikan didalam alat pengering yang didesain ini. Berikut ditampilkan desain gambar alat pengering.



Gambar 2. Hasil Desain dan Bagian Alat Pengering Ikan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengkajian terhadap analisis dan design dari alat pengering ikan air tawar dengan kapasitas 20 kg sehingga diharapkan kadar air ikan yang semula 70% turun menjadi 10%. Dimana panas energi untuk menurunkan kadar air ikan tersebut berasal dari energi surya.

Dengan menggunakan data kondisi temperatur ruang, udara dan kelembaban udara serta data Intensitas radiasi didearah kota Banjarmasin, dilakukan perhitungan secara empiris sehingga diperoleh kebutuhan energy di alat pengering sehingga dapat dihitung kebutuhan luas kolektor untuk mengkonversi energi surya menjadi energi panas.

Hasil perhitungan teknis dari alat pengering ikan air tawar dengan kapasitas 20 kg, diperoleh hasilnya yaitu:

1. Laju pengeringan secara konveksi yang optimal diperoleh untuk kecepatan 1,05 m/s
2. Waktu pengeringan 7,11 jam dengan suhu yang optimal diruang pengering 60 °C
3. luas kolektor yg digunakan 3,65 m² dengan sudut kemiringan yang dioptimasi adalah 10°, 15°, 20° yang paling optimal adalah sudut 15° karena tangkapan cahaya lebih optimal

Dalam penelitian ini dilakukan pula analisis simulasi dengan bantuan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk mengetahui penyebaran atau distribusi suhu yang terjadi pada alat pengering ikan tair tawar di ruang pengering. Terlihat bahwa alat pengering ikan tenggiri tersebut mengalami penyebaran suhu yang merata, sehingga panas yang merata ini dapat mempercepat pengeringan kadar air di ikan tenggiri dari 70% menjadi 10% dengan menggunakan alat pengering ikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Auliya Burhanuddin, 1993, Karakteristik kolektor surya plat datar dengan variasi jarak penutup dan sudut kemiringan kolektor, UNS
2. Arismunandar, W., 1995, Teknologi Rekayasa Surya, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
3. Bizzy, Irwin, Edi Saputra, 2000, Pengeringan produk ubi kayu dengan alat penukar kalor bersirip. Jurnal Teknik Mesin, inderalaya. FT Unsri
4. Djojodihardjo, H., 1985, Dasar-dasar Termodinamika Teknik, PT Gramedia, Jakarta
5. Frank P. Incropera and David P. De Witt, 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4th Edition, John Wiley & Sons
6. Handoyo, E.A., dkk., ----, Desain dan Pengujian Sistem Pengering Ikan Bertenaga Surya, Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra
7. Holman, J.P, 1986, Heat Transfer, McGraw-Hill Inc.
8. Ismail, Thamrin. 2010. Rancang Bangun Alat Pengering Ubi Kayu Tipe Rak Dengan Memanfaatkan Energi Surya, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, Palembang
9. Kristanto, P., dan Laeyadi, J., 2000, Kolektor Surya Prismatik, Jurnal Teknik Mesin Vol. 2 No.1 : 22-28
10. M.Syahri, 2011, Rancang Bangun Sistem Desalinasi Energi Surya Menggunakan Absorber Bentuk Separo Elip Melintang, Prosiding Seminar Teknik Kimia Kejuangan, Yogyakarta
11. Rahardjo, I., I. Fitriana, 2002, Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia, Seminar Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batu Bara Skala Kecil, PLN, dan Energi Terbarukan.
12. Stoecker, W.F., J.W. Jones, 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill Inc.
- Wulandani, D., dan Nelwan, L.O., 2009, Rancang Bangun Kolektor Surya Tipe Plat Datar dan Konsentrator Surya untuk Penghasil Panas Pada Pengering Produk-Produk Pertanian, Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB, Bogor.

Pengaruh Kualitas Briket Penyala dan Pasokan Udara terhadap Waktu Tahan Temperatur Tinggi pada Pembakaran Briket

Anton Irawan*, Roby Martin, Satria Gallan Perdana

*Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral Sudirman Km 3, Cilegon-Banten, 41353

Telp: (0254)-395502, Fax: 0254-395440

E-mail: anton@ft-untirta.ac.id

Abstract

One of the processing of biomass into energy is densification method to get the fuel with high energy density like briquette. Briquettes are made from a mixture of several components such as coal, biomass and agricultural waste also binder. Coal is used to increase the calorific value in the production of briquettes. In this study, agricultural waste rice husk was used in the manufacture of rice husk briquettes with molase as binder. This study aimed to observe the influence of igniter briquettes and the diameter of air supply to the high temperature resistance in the process of burning briquettes. Igniter briquettes conditioned by soaking in kerosene at a certain time period (30 seconds, 60 seconds, 120 seconds) with varying amounts (1,2 and 3 briquettes). The size of air holes in the burner is 1, 2 and 3 cm with a number of holes as much as 9 holes. High temperature resistance are gas temperature of combustion briquette at a fixed position which was reached temperatures above 500oC. Experiments carried out on the stove with 12 briquettes to be burned. The results obtained by using briquettes burning igniter 1 piece with a long soak 60 seconds and the air hole size 1 cm briquette stoves can result 110 minutes for high holding temperature

Keywords: biomass, bio-briquette, igniter briquette, burning, stove

Pendahuluan

Limbah sering diartikan sebagai bahan buangan dari proses pengolahan hasil pertanian. Proses penghancuran limbah secara alami berlangsung lambat, sehingga limbah tidak saja mengganggu lingkungan sekitarnya tetapi juga mengganggu kesehatan manusia. Pada setiap penggilingan padi akan selalu dilihat tumpukan sekam padi yang semakin lama semakin tinggi. Saat ini pemanfaatan sekam padi masih sangat sedikit, sehingga sekam padi tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu lingkungan. Biomassa sekam padi dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi yang cocok dikembangkan di Indonesia karena jumlahnya yang melimpah.

Penelitian untuk mengembangkan sumber energi alternatif diharapkan dapat menggeser ketergantungan terhadap minyak bumi dengan menggunakan biomassa.

Pengolahan biomassa menjadi energi alternatif dilakukan dengan metode pembriketan. Biobriket merupakan salah satu energi alternatif yang diharapkan mampu menggantikan peran bahan bakar lain diantaranya minyak tanah dan gas elpiji.

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas. Pembakaran sempurna bahan bakar dapat terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Adapun mekanisme pembakaran bahan bakar padat, yaitu *drying, heating, pyrolysis*, reaksi pembakaran zat terbang yang terbakar dengan oksigen sekitar yang diikuti dengan terbentuknya lidah api atau bunga api (*flame*)

dan tahapan terakhir adalah oksidasi arang oleh oksigen sekitarnya sebagai reaksi pembakaran homogenous yang diikuti oleh pembaraan arang (*char oxidation*).

Briket arang adalah arang yang diolah lebih lanjut menjadi bentuk briket yang dapat digunakan untuk keperluan energi sehari-hari. Pembuatan briket arang dari limbah industri penggilingan padi dilakukan dengan cara penambahan perekat tapioca dengan bahan baku diarsangkan terlebih dahulu. Pengikat yang dipergunakan berpengaruh terhadap kualitas briket yang dihasilkan. Percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan molase dan tar bahwa pengikat tar memberikan kandungan energy briket yang lebih tinggi (Irawan, 2011a).

Terdapat dua metode untuk menganalisis biobriket diantaranya yaitu analisa proksimat dan ultimate. Analisa proksimat menganalisis fixed carbon, volatile matter, kadar air dan persen abu, sedangkan analisis *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan lain-lain. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat, antara lain:

a) Ukuran partikel

Dengan Partikel yang lebih kecil ukurannya, maka suatu bahan bakar padat akan lebih cepat terbakar.

b) Kecepatan aliran udara

Laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur (Irawan, 2010)

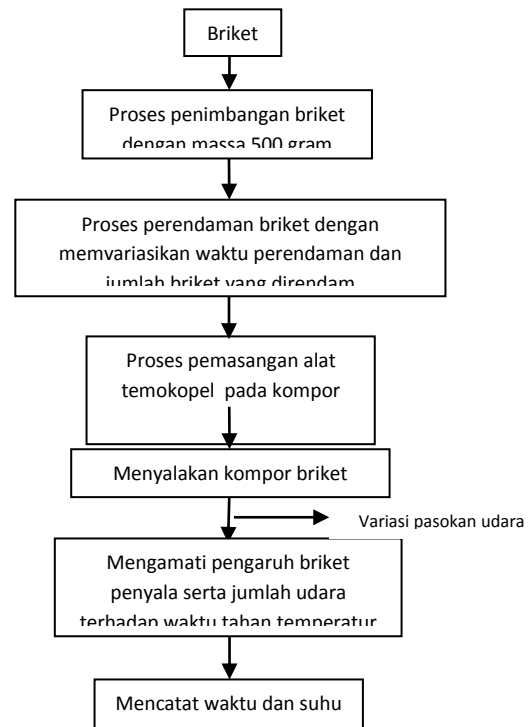
c) Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* (zat-zat yang mudah menguap) dan kandungan *moisture* (kadar air). Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada suatu bahan bakar padat maka akan semakin mudah bahan bakar padat tersebut untuk terbakar dan menyala (Felfi, 2011).

d) Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh briket penyala serta diameter pasokan udara terhadap waktu tahan temperatur tinggi pada proses pembakaran briket. Briket yang dipergunakan terdiri dari 2 macam yaitu briket yang terdapat di pasaran serta briket yang dibuat sendiri dari campuran batubara dengan sekam padi. Briket yang dibuat sendiri memiliki kandungan energy yang mendekati briket yang terdapat di pasaran.



Gambar.1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi

Tahapan penelitian dimulai dengan menimbang biobriket batubara sebanyak 500 gr. (Gambar 1) Biobriket sebanyak 1, 2 dan 3 buah direndam ke dalam cairan penyulut (minyak tanah) dengan cara merendam biobriket campuran sekam padi dan batubara selama 1, 3 dan 5 menit. Proses pemasangan alat termokopel pada kompor dilakukan dengan mengukur jarak antara unggun dan termokopel dengan ketinggian 3 cm. Biobriket yang telah direndam dan biobriket yang tidak direndam dalam minyak tanah diletakkan di atas kisi dari kompor dengan cara menempatkan bagian yang telah dicelup penyulut berada pada sisi bawah dan biobriket yang tidak direndam dalam minyak tanah berada pada sisi atas. Lapisan penyulut dinyalakan dengan korek api. Penyalaan unggun bahan bakar dibiarkan berlangsung dari bawah ke atas sampai tercapai pembakaran. Pengamatan dilakukan pada temperature yang dihasilkan dari proses pembakaran briket khususnya temperature diatas 500°C yang dinamakan sebagai waktu tahan temperatur pembakaran briket. Adapun peralatan kompor yang dipergunakan merupakan modifikasi dari kompor yang ada dipasaran. Modifikasi dilakukan pada dinding-dinding dari kompor dengan memberikan lubang tambahan bagi masuknya udara ke area pembakaran dari kompor (Gambar 2)



Gambar.2. Kompor Briket Batubara yang dipergunakan dalam penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa secara proksimat dan ultimat terhadap briket yang ada dipasaran serta biobriket dari sekam padi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 hasil pengujian proksimat dan ultimat briket pasar dan biobriket

| Parameter (%-berat) | Briket Pasaran | Biobriket Sekam Padi |
|---------------------|----------------|----------------------|
| TM | 26.81 | XXXX |
| IM | XXXX | 8.937 |
| ASH | 3.94 | 14.27 |
| VM | 33.67 | 36.96 |
| FC | 35.58 | 39.84 |

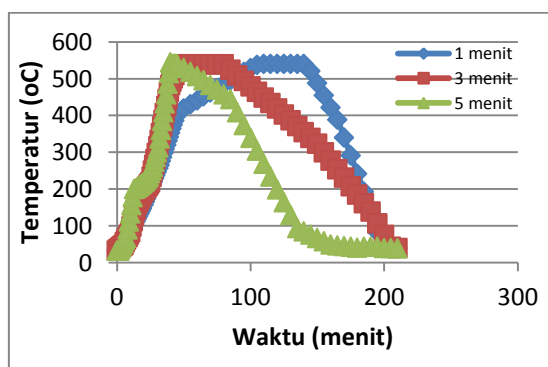
| GCV (kcal/kg) | 5086 | 5271.25 |
|------------------|-------|---------|
| H | 3.56 | 3.74 |
| C | 44.05 | 53.77 |
| N | 0.62 | 0.6 |
| O | 20.61 | 15.63 |

Tingginya nilai energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran briket (GCV) dipengaruhi oleh jumlah *Fixed Carbon* (FC) yang terkandung dalam briket. Biobriket campuran sekam padi dan batubara buatan sendiri memiliki nilai kalor yang lebih besar dibandingkan briket pasar (5271.25 Kcal/Kg). Semakin kecil porositas briket, semakin kecil juga *moisture* yang dapat diserap dalam pori briket tersebut (IM). *Volatile Matter* atau zat terbang adalah bagian organik batubara yang menguap ketika dipanaskan pada temperatur tertentu. *Volatile Matter* biasanya berasal dari gugus hidrokarbon.

Selanjutnya parameter analisa ultimat seperti C, H, O, S, dan N merupakan unsur dasar organik pembentuk batubara dan sekam padi. Kandungan ultimat dalam briket digunakan sebagai dasar perhitungan stoikiometri udara yang diperlukan untuk membakar briket secara sempurna.

Pengaruh Variasi Waktu Perendaman Terhadap Waktu Tahan Temperatur Tinggi Pada Pembakaran Briket

Variasi waktu perendaman briket dilakukan dengan cara membedakan lama waktu perendaman yakni selama 1, 3, dan 5 menit dengan menggunakan 1 buah briket yang direndam. Gambar 2 adalah grafik pengaruh lama perendaman briket penyulut terhadap temperatur sepanjang proses pembakaran briket.



Gambar. 3 Pengaruh lama perendaman briket penyulut terhadap temperatur pembakaran pada kondisi jumlah briket yang direndam 1 serta diameter lubang udara 1 cm

Proses pembakaran briket dengan waktu perendaman 1 menit membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mentransferkan panas keseluruhan

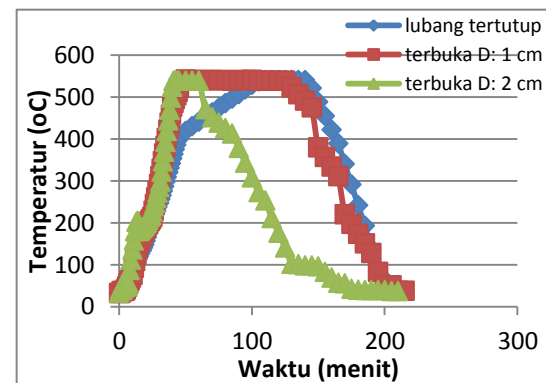
briket. Setelah panas merata maka briket cenderung mengalami kenaikan temperatur secara bertahap hingga diatas temperatur 500 °C, dengan waktu tahan temperatur tinggi yang berlangsung selama 100 menit (Gambar 3)

Berbeda untuk briket dengan waktu perendaman 3 dan 5 menit yang tidak mencapai titik optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh proses perendaman yang terlalu lama menyebabkan briket terlalu banyak mengakumulasi minyak tanah, sehingga proses pembakaran berlangsung cepat.

Dari Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa proses pembakaran briket dengan variasi waktu perendaman 1 menit telah menghasilkan panas pembakaran yang paling optimal dengan waktu tahan pada temperatur tinggi terjadi cukup lama, lama penyalaan yang cepat dan proses pembakaran yang relatif lama.

Pengaruh Variasi Bukaannya Lubang Pada Dinding Kompore Terhadap Waktu Tahan Temperatur Tinggi pada Pembakaran Briket

Variasi bukaan lubang udara pada dinding kompor dilakukan dengan cara memberi 9 buah lubang berbentuk lingkaran. Adapun diameter lubang, yaitu lubang tertutup, 1 cm, dan 2 cm. Pada kondisi lubang tertutup membutuhkan waktu yang lama (145 menit) untuk mencapai temperatur 500°C. Pada variasi lubang terbuka dengan variasi diameter 1 cm hanya membutuhkan 45 menit untuk mencapai temperature 500°C. dengan waktu tahan temperatur tinggi berlangsung paling lama (105 menit). Pada variasi lubang terbuka dengan diameter 2 cm membutuhkan waktu 45 menit untuk mencapai temperatur 500°C, namun waktu tahan temperatur tinggi terjadi dengan singkat (10 menit). (Gambar 4)



Gambar. 4 Pengaruh lubang udara terhadap temperature pembakaran pada kondisi jumlah briket yang direndam 1 dan waktu perendaman 60 detik

Pada variasi lubang tertutup pada dinding kompor, ketidaktersediaan oksigen yang cukup untuk terjadinya pembakaran bahan bakar mengakibatkan waktu yang dibutuhkan briket penyala untuk

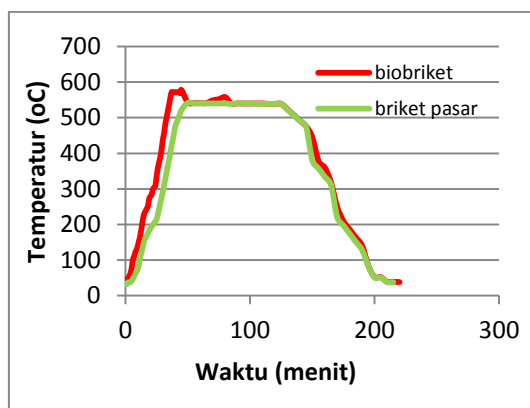
mencapai temperatur maksimum terjadi cukup lama, yaitu 145 menit. Hal ini dikarenakan bahan bakar padat (briket) membutuhkan udara berlebih sekitar 15-40% dari kebutuhan stoikiometri. Pada proses pembakaran briket dengan variasi lubang terbuka dengan diameter 1 cm, pembakaran mencapai temperatur maksimum pada menit ke 45. Waktu tahan pada temperatur di atas 500 °C berlangsung selama 100 menit hingga menit ke 145.

Proses pembakaran briket dengan variasi lubang terbuka dengan diameter 2 cm, suplai oksigen ke dalam kompor yang terlampaui besar, mengakibatkan optimasi pembakaran briket hanya terjadi di awal yaitu pada menit 45 sampai dengan menit 65. Hal tersebut dipengaruhi oleh terjadinya fenomena *Heat Lost* sehingga waktu tahan temperatur tinggi pada briket penyala tidak berlangsung lama. *Heat Lost* adalah hilang panas karena terbawa udara berlebih. (Gambar 4).

Perbandingan Briket Pasar dengan Biobriket Campuran Sekam Padi dan Batubara

Pembakaran briket dilakukan dengan menggunakan kompor dengan variasi lubang terbuka diameter 1 cm dengan 6 buah lubang pada dinding kompor, 1 briket yang direndam, dan waktu perendaman 1 menit. Gambar 5 adalah grafik hubungan antara temperatur dengan waktu (menit) antara briket pasar dengan biobriket campuran sekam padi dan batubara buatan sendiri. Komposisi biobriket campuran sekam padi dan batubara terdiri dari 20 % sekam padi, 40 % batubara, dan 40 % pengikat (molase)

Proses pembakaran dengan menggunakan briket pasar (Gambar 6). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur maksimum (45 menit), proses pembakaran berlangsung selama 215 menit, waktu tahan temperatur tinggi terjadi selama 105 menit. Pada proses pembakaran dengan menggunakan biobriket campuran sekam padi dan batubara. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur maksimum (37 menit), proses pembakaran berlangsung selama 220 menit, waktu tahan temperatur tinggi terjadi selama 113 menit.



Gambar. 5 Perbandingan profil temperature antara biobriket dengan briket pasar pada kondisi pembakaran dengan 1 buah briket penyulut dengan lama perendaman 60 detik serta diameter lubang udara pada kompor 1 cm.

Proses pembakaran dengan menggunakan biobriket campuran sekam padi dan batubara buatan sendiri lebih unggul dibandingkan briket pasar. Biobriket campuran sekam padi dan batubara menghasilkan temperatur paling tinggi yaitu 570°C dengan waktu tahan temperatur lebih lama (113 menit) dan waktu pembakaran paling lama (220 menit). Hal tersebut disebabkan karena secara kualitas berdasarkan analisa laboratorium, biobriket campuran sekam padi dan batubara buatan sendiri memiliki nilai kalor lebih besar dari briket pasar (5271,25 Kcal/Kg) sehingga menghasilkan panas yang lebih tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

- Waktu perendaman mempengaruhi lama penyalaan dan waktu tahan temperatur tinggi
- Diameter lubang udara mempengaruhi lama penyalaan dan waktu tahan temperatur tinggi
- Biobriket campuran sekam padi dan batubara buatan sendiri menghasilkan waktu tahan temperatur tinggi yang lebih lama dibandingkan briket pasar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indonesia Power yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

Effendy, H., 2000, "Penggunaan dan Karakterisasi Minyak Tar Batubara pada Material Refraktori", Thesis Magister. Institut Teknologi Bandung, Bandung

Felfli.F.F., et all, 2011, "Biomass briquetting and its perspectives in Brazil", Biomass and Bioenergy Journal, 35, 236-242

Irawan, A., 2010, "Influence of air hole to the energy efficiency of coal briquette stove", SISEST 2010-RUSNAS PEBT Unsri

Irawan, A., 2011a, “ Pengaruh Jenis *Binder* terhadap Komposisi dan Kandungan Energi Biobriket Sekam Padi”, SNTKK UPN Veteran Yogyakarta

Irawan, A., Hartono, R., 2011b, “ Pengaruh Jenis Pengikat terhadap Briket Fines Sponge”, SNIP Untirta Cilegon.

Kajian Awal Pengolahan Sekam Padi sebagai Bahan Bakar untuk Ketahanan Energi Nasional melalui Proses Torefaksi

Anton Irawan*, Yurika Patresya M., Novi Niati Karina

*Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral Sudirman Km 3, Cilegon-Banten, 41353

Telp: (0254)-395502, Fax: 0254-395440

E-mail: anton@ft-untirta.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is a country with a lot of energy resources, both non-renewable energy such as oil, natural gas and coal and renewable energy sources such as biomass, sunlight, water and others. Availability of non-renewable energy decreases with increasing energy demand then diversification of energy needs to be done in the direction of renewable energy. Biomass has the potential be used as a source of renewable energy, particularly in rural areas that are difficult to access. Agricultural waste such as rice husks and palm bunches have a relatively high energy content of about 14000-16000 kJ / kg. Therefore, biomass can be used as fuel. Utilization of rice husks and palm bunches as fuel combustion can be done by direct or indirect. Technology of biomass utilization has grown rapidly, but the pre-treatment process technology of the biomass did not develop. Pre-treatment technologies of biomass can maintain the quality of biomass and increase the energy density of biomass. Torrefaction can be used for pretreatment of biomass within the framework of strengthening the energy security sector, especially in regions where had a lot of biomass. This initial study was conducted to determine the effect of temperature and time of process of rice husk torrefaction into products of torrefaction. The results of this study indicate that the process torrefaction in range of temperatures 200-250oC with an increase in energy density by 20%.

Keywords : Biomass, Rice husk, Torrefaction, Cellulose, Hemicellulose

Pendahuluan

Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden No 5 tahun 2006 tentang bauran Energi Nasional bahwa 17 % sumber energi nasional pada tahun 2025 berasal dari Energi Baru dan Terbarukan. Kemudian diperkuat dengan Visi Energi Nasional bahwa 25 % sumber energi nasional pada tahun 2025 berasal dari Energi Baru Terbarukan termasuk biomassa. Biomassa dapat diproses menjadi energi melalui beberapa proses seperti pembriketan, gasifikasi dan pembakaran langsung. Pemanfaatan biomassa termasuk sekam padi dan tandan kelapa sawit memiliki beberapa kendala yaitu sumber biomassa yang tersebar, kualitas biomassa yang berbeda-beda, nilai kalor biomassa yang rendah serta transportasi biomassa yang sulit (Uemura.et.all.,2011). Umumnya teknologi pemanfaatan biomassa tidak memperhatikan pengolahan awal dari kondisi biomasa sehingga biomassa tersebut mengalami penurunan kualitas seperti peningkatan kandungan air yang akan mengurangi kandungan energi (kJ/kg biomassa). Kualitas biomassa dapat dijaga dengan mengubah karakteristik biomassa dari sifat mudah menyerap air (hidrofili) menjadi sifat sulit menyerap air (hidrofobia). Dengan potensi sekam padi yang besar dimiliki oleh Indonesia sekitar 15 juta ton/tahun atau setara 7250 MW maka pengembangan teknologi

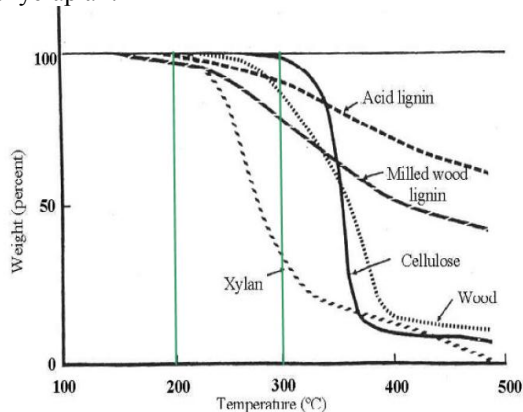
pengolahan sekam padi sebagai energi menjadi sangat potensial. Kendala-kendala dalam pemanfaatan sekam padi khususnya dalam penyimpanan sekam padi menjadi tantangan dalam pemanfaatannya.

Torefaksi (*torrefaction*) merupakan teknologi pengolahan awal biomassa melalui suatu proses termal tanpa oksigen pada temperatur rendah sekitar 200-300°C (Van der Stelt, M.J.C, et. al., 2011). Torefaksi dapat dipergunakan untuk pengolahan awal biomassa sehingga kualitas biomassa akan meningkat. Karakteristik biomassa hasil proses torefaksi akan berubah seperti kandungan oksigen dalam biomassa akan berkurang, kandungan hemiselulosa akan berkurang, sifat biomassa menjadi sulit menyerap air, kandungan energi meningkat. Produk biomassa hasil torefaksi akan mempunyai kandungan oksigen yang rendah dan mendekati kondisi batubara menurut Van der Stelt, M.J.C, et. al. (2011).

Kondisi bahan baku biomassa dan proses torefaksi berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan dari proses torefaksi. Kandungan hemiselulosa dari bahan baku biomassa yang tinggi akan menyulitkan dalam mengubah karakteristik biomassa menjadi sifat hidrophobia menurut Chen.W.H and Kuo P.C (2011). Temperatur proses juga berpengaruh terhadap kualitas produk biomassa hasil torefaksi. Temperatur proses torefaksi dibawah

200°C akan menghasilkan produk torefaksi yang tinggi kemampuan menyerap air karena kandungan hemiselulosa yang belum terdegrasi pada temperatur tersebut. Kemudian pada proses torefaksi di atas 300°C akan menghasilkan produk kandungan energi yang rendah karena sebagian energi pada zat terbang hilang terbawa aliran gas. Temperatur sangat berperan dalam menghilangkan kandungan hemiselulosa yang akan mengubah karakteristik dari biomassa menjadi sulit untuk menyerap air. Pada saat mengalami pemanasan, komponen hemiselulosa (xylan) akan lebih cepat mengalami degradasi pada temperature sekitar 225-325°C, kemudian selulosa terdegrasi pada temperatur 305-375°C dan lignin pada temperature 250-500°C (Prins, M.J., et. al., 2006).

Hemiselulosa lebih cepat terdegrasi dibandingkan dengan komponen selulosa atau lignin (Gambar 1) pada temperature sekitar 200-300°C. Maka proses torefaksi pada temperatur sekitar 200-300°C berfungsi untuk menghancurkan polimer hemiselulosa yang berfungsi untuk menjadi perekat bagi selulosa. Dengan demikian sifat-sifat mudah menyerap air dari hemiselulosa akan berkurang dan mengubah karakteristik biomassa ke arah sulit menyerap air.



Gambar 1 Profil kehilangan massa terhadap temperature dari komponen-komponen penyusun biomassa (Bergman et al., 2005)

Dengan kondisi Indonesia yang memiliki kelembaban yang tinggi maka produk hasil proses torefaksi diupayakan memiliki tingkat hidrofobik yang tinggi. Maka pada penelitian ini perlu dilakukan suatu kajian pengaruh kualitas bahan baku biomassa dan temperatur proses torefaksi terhadap kualitas produk yang dihasilkan dari proses torefaksi.

Akhir-akhir ini penelitian tentang proses torefaksi biomassa berkembang sangat cepat seiring dengan beralihnya penggunaan jenis bahan bakar fosil ke bahan bakar yang dapat diperbaharui seperti biomassa. Kinetika proses torefaksi telah dilakukan oleh beberapa penelitian dengan material yang berbeda-beda. Prins, M.J.P et. al (2006) memaparkan tentang kinetika proses torefaksi pada

kondisi temperature 225-300°C dengan material Kayu jenis Willow yang memiliki ukuran 0.7-2.0 mm. Model kinetika yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh Prins adalah model kinetika mekanisme dua tahap. Pada model kinetika mekanisme dua tahap yaitu mekanisme pertama adalah dekomposisi hemiselulosa dan mekanisme kedua adalah dekomposisi selulosa. Prins menyimpulkan bahwa mekanisme pertama lebih cepat dibandingkan mekanisme kedua pada temperature 225-300°C.

Adapun penelitian torefaksi untuk sekam padi telah dilakukan Wang, M.J, et al. (2012) dengan menggunakan teknologi gelombang mikro. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sekam padi dapat mengalami proses torefaksi untuk peningkatan kandungan energy serta penurunan rasio H/C dan O/C. Pada penelitian dipaparkan bahwa kandungan air biomassa kurang terpengaruh oleh proses torefaksi dengan menggunakan gelombang mikro akibat sifat polar dari air.

Dengan kelebihan yang dimiliki oleh proses torefaksi seperti kenaikan kerapatan energi serta sifat sulit menyerap kembali air maka penelitian proses torefaksi sekam padi perlu dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji awal pengaruh proses torefaksi (temperature dan waktu) terhadap kualitas produk biomassa sekam padi yang telah mengalami proses torefaksi.

Metodologi

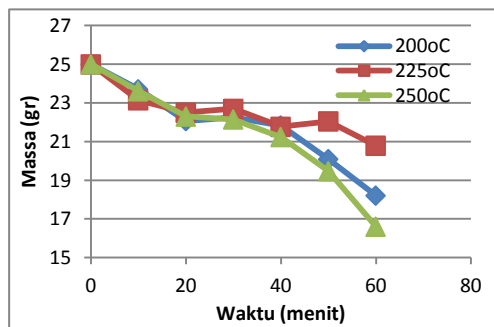
Percobaan awal torefaksi dilakukan dalam suatu oven yang dapat diatur temperature dari 200-250°C. Sekam padi yang telah mengalami proses torefaksi dikeringkan secara alamiah menggunakan matahari, kemudian dilakukan analisa secara proksimat dan ultimat. Kandungan energy dari bahan baku sekam padi juga dianalisa sebagai acuan untuk melihat performansi proses torefaksi dalam meningkatkan kerapatan energy. Kemudian sekam padi dimasukkan kedalam oven sebanyak 25 gram dengan memvariasikan temperature oven 200, 225 dan 250°C. Lama sekam padi dalam oven juga divariasikan dari 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Analisa proksimat dilakukan untuk melihat perubahan komposisi khususnya pada kandungan air (MC) dan kandungan zat terbang (VM). Pada produk sekam padi hasil torefaksi juga dilakukan penimbangan untuk mengetahui pengurangan massa yang terjadi selama proses torefaksi. Pada penelitian ini juga diperlihatkan analisa kualitatif perubahan warna yang terjadi akibat proses torefaksi.

Hasil dan Pembahasan

Pada percobaan dengan memvariasikan temperature proses torefaksi (200-250°C) terlihat bahwa temperature 250°C menghasilkan laju penurunan massa yang terbesar (Gambar 2). Hal ini terjadi

karena pada temperatur yang lebih tinggi dari 200°C maka kandungan air dan zat terbang dari sekam padi akan semakin banyak yang keluar dari sekam padi. Hal ini terbukti dari hasil analisa secara proksimat (Tabel 1) pada sekam padi yang mengalami proses torefaksi temperatur tinggi akan mengalami penurunan kandungan air (MC) dan zat terbang (VM).

Selain itu pada Tabel 1 juga terlihat bahwa kerapatan energy dari sekam padi yang mengalami proses torefaksi meningkat sekitar 20%. Hal ini terjadi dari kondisi penghilangan kandungan air serta sebagian dari kandungan zat terbang.



Gambar 2. Massa sekam dengan variasi waktu (menit) serta temperature proses torefaksi (°C)

Tabel 1 Hasil Analisa Proksimat (%-berat) Sekam Padi yang mengalami Torefaksi (> 250°C)

| | Sekam Padi | Sekam Padi Torefaksi |
|--------------|------------|----------------------|
| MC | 9.178 | 5.97 |
| VM | 43.4 | 23.28 |
| Ash | 36.42 | 48.35 |
| FC | 11 | 22.4 |
| CV (kcal/kg) | 2472.5 | 2977.7 |

Analisa kualitatif terhadap perubahan warna dari sekam padi yang mengalami proses torefaksi juga dilakukan. Gambar 3 memperlihatkan perubahan warna akibat proses torefaksi pada sekam padi. Pada temperatur yang lebih tinggi, sekam padi yang dihasilkan memiliki warna yang lebih gelap. Perubahan warna pada produk sekam padi dapat dipergunakan sebagai indikasi awal dari berlangsung proses pirolisa dari sekam padi.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Perubahan Warna pada Proses Torefaksi (a) Sekam Padi Awal, Produk Sekam Mengalami Proses Torefaksi pada (b) T=200°C, (c) T=225°C dan (d) T=250°C

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan awal tentang torefaksi sekam padi dapat disimpulkan bahwa:

- Proses torefaksi untuk sekam padi telah berlangsung pada temperature 200-250°C
- Laju penurunan massa sebanding dengan lama proses torefaksi
- Proses torefaksi sekam padi telah menaikkan densitas energy dari sekam padi
- Perubahan warna dari sekam padi terjadi selama proses torefaksi

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indonesia Power yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., Ptasinski, K.J., 2011. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. Elsevier, Biomass and Bioenergy, 35 , 3748-3762

Daftar Pustaka

Basu, P., 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design. Elsevier Inc

Bergman, P.C.A., 2005. Combined Torrefaction and Pelletisation. ECN Report, ECN-C-05-073

Bridgeman, T.G., Jones, J.M., Shield, I., Williams, P.T., 2008. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. Elsevier, Fuel, 844-856

Clark, J.H and Deswarte, F.B.I., 2008. Introduction to chemical from Biomass. John Wiley and Sons,

Chen, W.H., Kuo, P.C., 2011. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. Elsevier, Energy, 36, 803-811

Felfli, F.F., Luengo, C.A., Suarej, J.A., Beaton, P.A., 2005a. Wood briquette torrefaction. Energy for Sustainable Development 9(3), 19-22

Felfli, F.F., Luengo, C.A., Rocha, J.D., 2005b. Torrefied briquettes: technical and economic feasibility and perspectives in the Brazilian market. Energy for Sustainable Development 9(3), 19-22

Irawan, A., 2010. Pengaruh Jenis Binder Terhadap Komposisi dan Kandungan Energi Biobriket Sekam Padi. Seminar Teknik Kimia Kejuangan, UPN Yogyakarta

Li, H., Liu, X., Legros, R., Bi, X.T., Lim, C.J., Sokhansanj, S., 2012. Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. Elsevier, Bioresource Technology, 103, 453-458

Prins, M.J., Ptasinski, K.J., Janssen, F.J.J.G., 2006. Torrefaction of wood Part 1. Weight loss kinetics. Elsevier, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 77, 28-34

Repellin, V., Govin, A., Rolland, M., Guyonnet, E., 2010. Modelling anhydrous weight loss of wood chips during torrefaction in a pilot kiln. Elsevier, Biomass and Bioenergy, 24, 602-609

Uetmura, Y., Omar, W.N., Tsutsui, T., Yusuf, S.B., 2011. Torrefaction of oil palm waste. Elsevier, Fuel, 90, 2585-2591

Wang, M.J., Huang, Y.F., Chiueh, P.T., Kuan, W.H., Lo, S.L., 2012. Microwave-induced torrefaction of rice husk and sugarcane residues. Elsevier, Energy, 37, 177-184

Optimasi Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro dengan Daya Nominal 12 kW dengan Memanfaatkan Arus Sungai Selatan, Propinsi Kalimantan Selatan

Budi Hartadi*), Wibowo Paryatmo**), Eka Maulana**), Agri Suwandi**)
*)Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan, Banjarmasin
**)Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta

Abstract

Electricity demand in Desa Tanuhi Kecamatan Laksodo Kab. Hulu Sungai Selatan Propinsi Kalimantan Selatan perceived increased along with population growth in the area. Meanwhile, network from State Electricity company (PLN) to fulfill the electricity needs of the area is still limited. On the other hand the area has the potential of river water south of the waterfall with a height of 12 m and the minimum flow rate 0.13 m / s. Water potential can be harnessed into electrical energy by using a crossflow turbine. To obtain the optimal design of crossflow turbine performed by using software Computational Fluid Dynamics (CFD) optimization approach. Free parameters used to obtain the optimal design of water entry angle α_1 with a value of 120, 150 and 180, the relative angle β_2 water out with a 120, 150 and 900, 1100 and 1300 as well as the diameter of the nozzle 3, 4 and 5 inch. Design optimization results obtained for optimal turbine power 50.64 kW with a free parameter entry point of water at 120 α_1 , β_2 relative angle of water out of 1300 and the pipe 5 inch diameter nozzle.

Keywords: water, nozzle, crossflow, electrical

PENDAHULUAN

Desa Tanuhi Kecamatan Loksado Kab. Hulu Sungai Selatan Propinsi Kalimantan Selatan merupakan Kabupaten yang mempunyai wilayah pegunungan dengan sumber air yang memadai untuk kepentingan pengembangan energy listrik tenaga air. Pemberdayaan sumber - sumber air yang ini juga berpotensi untuk pembangkit listrik kepentingan pengembangan daerah pedalaman di sekitar sumber energi air tersebut.

Untuk memanfaatkan sumber energi air itu, maka perlu dilakukan studi kelayakan agar tenaga air yang tersedia di Desa Tanuhi Kecamatan Loksado Kabupaten Hulu Sungai Selatan Propinsi Kalimantan Selatan dapat digunakan sebagai sumber penghidupan masyarakat. Kawasan ini dialiri air terus menerus sepanjang tahun tanpa dipengaruhi oleh curah hujan, namun mempunyai debit air yang rendah antara 0.13 m/s dengan ketinggian 12 sampai 15 meter, sehingga berpotensi untuk dikembangkan pembangkit listrik.

Hasil penelitian ini akan berupa optimasi design sistem perancangan turbin air berskala kecil, di Desa Tanuhi Kecamatan Loksado Kabupaten Hulu Sungai Selatan Propinsi Kalimantan Selatan. Apabila dimensi Alat Pembangkit Listrik Mikrohidro dapat dibuat secara optimal, berarti akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kemajuan dengan mengeksplorasi potensi daerah dalam pengembangan energi terbarukan.

Secara prinsip upaya pemanfaatan sumber energi air yang tersedia tersebut dapat dilakukan pada tahap proses perencanaan, optimasi dan pengoperasian.

Yang menjadi tujuan utama dari penelitian adalah upaya pemanfaatan sumber tenaga air yang tersedia.

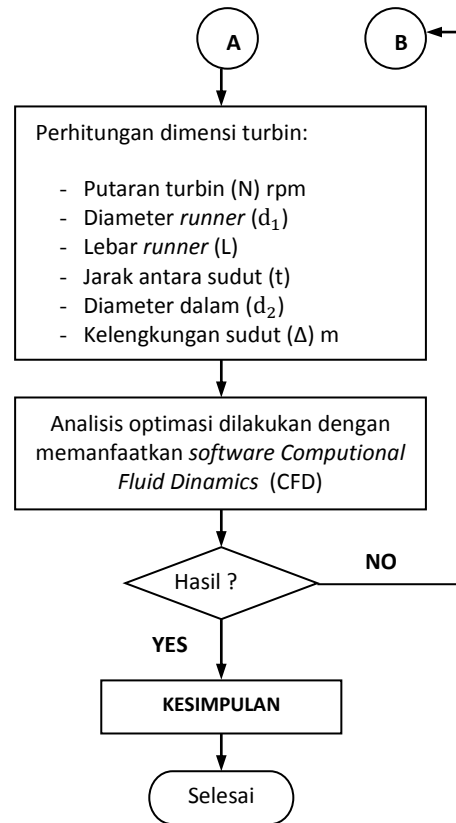
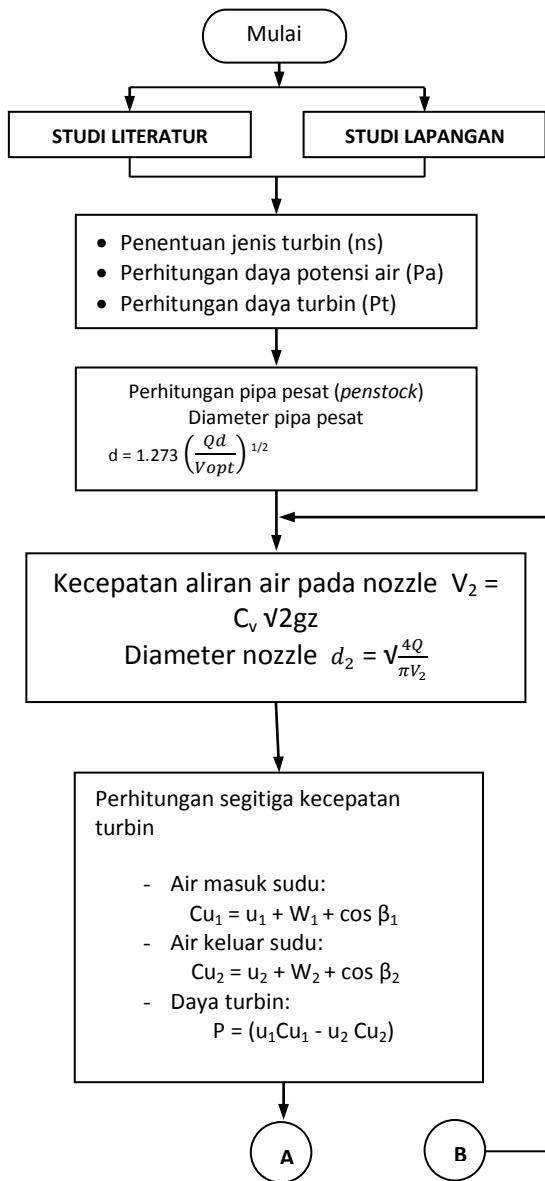
METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah sebagai berikut :

1. Diawali peninjauan lokasi PLTMH Loksado, dengan cara menelusuri aliran sungai, bendungan, kanal, bak penampung sampai pada instalasi turbin.
2. Pengambilan data data:
 - a. Primer:
 - 1) Menghitung secara langsung debit aliran menggunakan alat ukur debit:
 - Menggunakan kincir sederhana dimana putarannya diukur dengan menggunakan *tachometer*.
 - Menggunakan benda apung berupa kayu yang jatuhkan ke permukaan air sungai kemudian diukur kecepatannya dengan menggunakan *stopwatch* dalam jarak 5m.
 - 2) Mengukur beda ketinggian yang berpotensi untuk mendapatkan head maksimal, dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan secara manual dengan menggunakan meteran rol atau dengan metode perhitungan *phytogoras*.
 - b. Sekunder:
 - 1) Pengambilan data hujan di DPU pengairan Kab. Hulu Sungai Selatan sebagai syarat analisis data ketersediaan air yang mencukupi.

- 2) Pengambilan data debit (harian, tengah bulanan, tahunan dan sepuluh tahunan) dan data sedimentasi di PSDA Kandangan, Propinsi. Kalimantan Selatan.
3. Melakukan perhitungan data kasar sementara untuk mengetahui potensi daya listrik terbangkit.
4. Menganalisa permasalahan PLTMH yang ada tentang kemungkinan kesalahan desain dan instalasi.
5. Mengevaluasi data dan hasil perhitungan.
6. Mengoptimasi rancangan sistem PLTMH

Berikut diagram alir dari metode penelitian yang dilakukan:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Desain Teknis

| Besaran | Simbol | Satuan | Nilai |
|----------------------|----------|-------------------|-------|
| Debit Aliran Air | Q | m ³ /s | 0.13 |
| Ketinggian | z | M | 12 |
| Konstanta Kecepatan | K | | 0.087 |
| Sudut Masuk | α | (°) | 15 |
| Koefisien emperis | C | | 0.98 |
| Efisiensi Turbin | ηt | | 0.8 |
| Massa Jenis Air | P | Kg/m ³ | 1000 |
| Percepatan gravitasi | g | m/s ² | 9.81 |

Tabel 2. Hasil Perhitungan Penstock

| Besaran | Simbol | Satuan | Nilai |
|------------------|--------|--------|--------|
| Diameter dalam | Di | m | 0.2399 |
| Panjang | Lp | m | 14 |
| Tinggi | Heff | m | 12 |
| Kecepatan aliran | V | m/s | 2.875 |

Tabel 3. Hasil Perhitungan Dimensi Nozzel

| Besaran | Simbol | Satuan | Nilai |
|----------------------------------|--------|-------------------|-------|
| Kecepatan aliran air pada nozzle | V_2 | m/s | 14.73 |
| Diameter nozzle | d_2 | m | 0.104 |
| Luas penampang keluar nozzle | A | m ² | 0.034 |
| Debit aliran air keluar nozzle | Q_2 | m ³ /s | 0.52 |

Tabel 4. Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan Turbin

| Besaran | Simbol | Satuan | Nilai |
|--------------------------------|------------|--------|-------|
| Tahap I seksi air masuk sudu | | | |
| Kecepatan absolute | C_1 | m/s | 10.63 |
| Kecepatan tangensial | U_1 | m/s | 9.33 |
| Sudut air masuk | α_1 | (°) | 15 |
| Kecepatan relative | w_1 | m/s | 10.27 |
| Sudut relative | β_1 | (°) | 30 |
| Jari-jari runner luar | cu_1 | m/s | 10.91 |
| Tahap II seksi air keluar sudu | | | |
| Kecepatan absolute | C_2 | m/s | 9,91 |

| | | | |
|------------------------|------------|-----|-------|
| Kecepatan tangensial | U_2 | m/s | 9.33 |
| Sudut air keluar | α_2 | (°) | 30 |
| Kecepatan relative | w_2 | m/s | 8.73 |
| Sudut relatif | β_2 | (°) | 90 |
| Jari-jari runner dalam | cu_2 | m/s | 9.33 |
| | r_2 | m | 0.198 |
| Gaya | F | N | 0.76 |
| Momen puntir / torsi | | Nm | 0.68 |
| Daya Turbin | P | kW | 7.05 |

Tabel 5. Hasil Perhitungan Dimensi Turbin

| Besaran | Simbol | Satuan | Nilai |
|-----------------------|------------|--------|--------|
| Putaran Turbin | N | Rpm | 1250 |
| Lebar | L | m | 0.1476 |
| Diameter runner | D_1 | m | 0.6 |
| Jari-jari runner | r_1 | m | 0.30 |
| Jari-jari runner | r_2 | m | 0.198 |
| Tebal Pancaran | S_o | m | 0.38 |
| Jarak antar sudu | T | m | 0.1044 |
| Jumlah sudu | N | Buah | 18 |
| Lebar keliling radial | A | m | 0.102 |
| Diameter dalam | Di | m | 0.396 |
| Kelengkungan Sudu | Δ | m | 0.0978 |
| Massa turbin total | WT_{tot} | Kg | 11.47 |

KESIMPULAN

1. Energi air yang ada pada ketinggian $\Delta z = 12$ m dan debit aliran air minimum (Q) = $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$. Dapat dipilih turbin jenis arus silang, yang berdasarkan putaran spesifik $n_s = 54.71$
2. Diameter nozzle yang dibuat paling optimum ukuran 0.127 m
3. Optimasi design dan analisis perhitungan segitiga kecepatan didapat :
 - a. Sudut air masuk (α_1) = 12°
 - b. Sudut relative air keluar (β_2) = 130°
 - c. Daya turbin = 50.64 kW
4. Dari hasil pemanfaatan energi listrik dari mikrohidro diperoleh harga listrik per kWh Rp. $327,4$ sehingga dapat dibandingkan dengan harga listrik PLN (skala rumah tangga) yang berlaku saat ini yaitu Rp $700,-$ per kWh sampai Rp $900,-$ per kWh untuk rumah tangga skala menengah, dapat menghemat Rp. $300,-$ sampai Rp. $500,-$ per kWh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barglazan M, 2005, About Design Optimization of Cross flow Hydraulic Turbines. Scientific Bulletin of The Politehnica University of Timisoara. Romania.
2. Dietzel F., 1996. Turbin, Pompa dan Kompresor Edisi terjemahan, Erlangga, Jakarta.
3. ESFIA 2004. Guide on How, to Develop A Small Hydropower Plant. Belgium. Fox, Robert. ril/. & McDonald, Allan T, Introduction to Fluid Mechanic, Iohn Willey & Sons, Singapore
4. Sadrul I dkk, 2002. Sistem Mibohidro Berhead Rendah yang Tepat untuk Bangladesh. ICECE 200226-28 Desember. Dhaka Bangladesh.
5. Khurmi R.S. 1977. A Text Book of Hydralic Machines. S Chand & Company Ltd. New Delhi.
6. Patty, O.F., 1995. Mesin Tenaga Air, Erlangga, Jakarta.
- Paryatmo W, 2005, Turbin Air, UPP, Jakarta

Mechanical Design of Pressure Vessel for Three Phase Separator Using PV Elite Software

Cokorda Prapti Mahandari, Miko Sandi

Mechanical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Gunadarma University
Jl. Margonda Raya 100 Depok 16435

Email: coki@staff.gunadarma.ac.id, misand9@gmail.com

Phone: 08129585714

ABSTRACT

The safety factor of a pressure vessel is related to both the tensile stress and yield strength for material allowance. ASME Code Section VIII has fully covered these two on the construction code for pressure vessel. This code section addressed mandatory requirement, specific prohibition, and non mandatory guidance for pressure vessel materials, design, fabrication, examination, inspection, testing, certification, and pressure relief. Mechanical design of a horizontal pressure vessel for three phase separator based on this standard had been done incorporating PV Elite software. Analyses were carried out on head, shell, nozzle, and saddle. The input parameters are type of material, pressure, temperature, and diameter and corrosion allowance. Analysis performed the calculations of internal and external pressure, weight of the element, allowable stresses, vessel longitudinal stress check, nozzle check and saddle check.

Keywords: pressure vessel, mechanical design, PV Elite Software

Introduction

Pressure vessels are containers for the containment of pressure either internal or external. This pressure comes from an external source or by the application of heat from a direct or indirect source or any combination of them. The pressure vessels are used to store fluid that may undergo a change of state inside as in case of boiler or it may combine with other reagent as in a chemical plant. Pressure vessels are commonly used in industry to carry both liquid and gases under pressure. The material comprising the vessel is subjected to pressure loading and hence stresses from all direction. The normal stress resulting from this pressure are functions of radius of the element under consideration, the shape of the pressure vessel as well as the applied pressure (ASME, 2007).

One of the pressure vessel function is as a separator, which separate a mixture of immiscible fluids of different density. Based on the number of fluid involved, separator is classified into two phase separator and three phase separator refers to the number of streams leaving the vessel and not the inlet fluid stream.

Although most separators are two-phase in design, separating the gas and total liquids, three - phase separator mainly needed in natural gas processing. It separates gas, oil or other liquid hydrocarbons, and free water. Most platforms have a series of production separators, starting with a high-pressure (HP) separator, which separates the (HP) gas from the liquids. Liquids are then piped to a medium pressure (MP) separator, which removes more gas and then passes the liquids to a low pressure (LP) separator that removes even more gas and then

separates water from the oil (Arnold and Stewart, 1999).

Separators are built in various designs, such as horizontal, vertical or spherical. Vertical separator is commonly used in offshore due to limitation of space. Meanwhile horizontal separator is installed in a plant that space is not considered as barrier. This research reported the design of horizontal three phase separator that typically can be shown as Figure 1 (Taylor and Lucia, 1995).

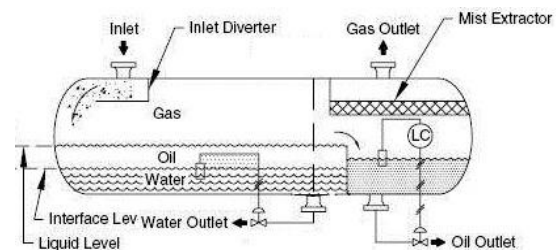


Figure 1. Three Phase Separator

Process design of three phase separator follows API (American Petroleum Institute) standard criteria. Mathematical model and thermodynamic analysis had been studied extensively (Taylor and Lucia, 1995, Dionne, 1998). Whilst this research merely analysed mechanical design of the three phase separator that basically a pressure vessel. Therefore it is focused on the pressure vessel design.

The pressure vessels must design thoroughly because rupture of pressure vessels causes an explosion that may end in loss of life and property. Research on modelling of leakage of a pressure vessel that contain two phase of fluid has been done. The simultaneous equation was solved using Matlab and the result presented in graphics (Cokorda, 2004). Investigation on the potential of over pressurization of a pressure vessel that carried chemical material

had also done (Adkins, 1994). However the first stage to prevent rupture of pressure vessel is designing the pressure vessel with great care.

Implementation of software for designing mechanical equipment facilitate engineer with a comprehensive analysis either structure analysis or dynamic simulation. Design and analysis pressure vessel for static loading and its assessment by Ansys had done (Jimit and Mahavir, 2008) The main feature is to check the behaviour of pressure vessel under fluctuating load include various aspects such as selecting the material based on ASME codes.

This research implements PV Elite software to analysis elements of horizontal pressure vessel for three phase separator. This graphical based software has GUI (Graphical User Interface) that collect model description and the interactive analysis displayed intermediate result conveniently on the same screen.

RESEARCH METHOD

The input design for pressure vessel refers to the data from PT. Sanggar Sarana Baja, one of pressure vessel manufacturer located in Jakarta. This order-based company had a project from one of oil and gas industry to manufacture a horisontal pressure vessel for three phase separator, with the capacity of 9,830 m³, design pressure of 138 bar, design temperature of 65 °C and maximum corrosion allowance of 3 mm. Head diameter is 1.52 m and shell diameter is 1.5 m and length of vessel is 4.5 m. The software was also facilitate accordingly.

Design procedure followed exactly ASME Code Section VIII. Analysis was carried out only on the following elements of pressure vessel: head, shell, nozzle, and saddle. The step of analyses are illustrated on flow chart as shown on Figure 2. Since the pressure vessel was made by order, then type of material had been determined previously. The pressure vessel constructed easily employ the suitable icon and the parameter design submitted to the input screen. This step was performed on every elements starting from head, shell, nozzle and saddle. All the mathematical equation refer from ASME Code. For example for head calculation, thickness of head is calculated using Equation 1

$$t = P.R / (2SE - 0.2P) + CA$$

.Where: t =head thickness, mm
 P =pressure, bar
 R =radius of head, mm
 S = stress of material, bar
 E =joint effisiensi
 CA =corrosion allowance,
 mm

Maximum Allowable Working Pressure can be determined using Equation 2

$$MAWP = \frac{2SEt_a}{R + 0.2t_a}$$

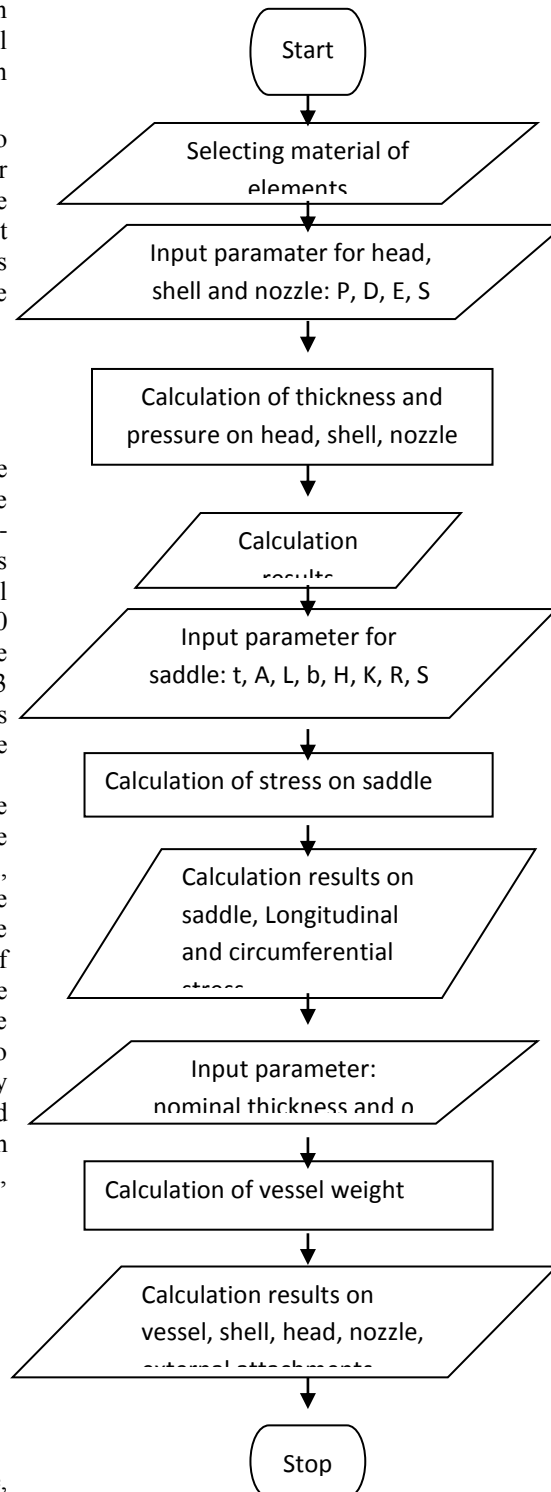


Figure 2. Research flow chart

Where: t_a = allowable thickness, mm.

Allowable thickness depend on the nominal thickness, corrosion allowance, head diameter and shell diameter.

The same equation would appear in the output screen whenever analysis menu was run. The similar step was conducted on different elements such as on shell, nozzle and also saddle. Saddle is only available on horizontal type of pressure vessel and for vertical one the term is leg. Weight of each element and the total weight of pressure vessel had also calculated.

The output of analysis can be presented in many feature. It can be in the form of table, or export to word processor in the form of final report. Since this research have not completed yet, the output would be presented as they are generated.

RESULT

Horizontal pressure vessel is drawn per elements and the icon for each element can be found easily. The input parameter for each element also type in the suitable bar as can be seen on Figure 3 and Figure 4. Once all the elements was connected, the pressure vessel would be as shown on Figure 5.

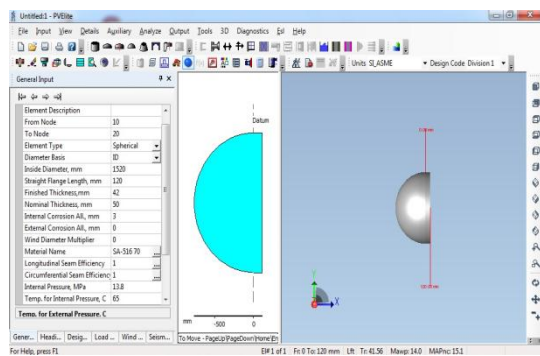


Figure 3. Head of vessel and the input data screen

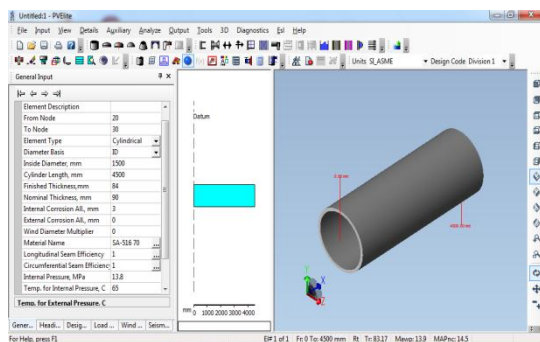


Figure 4. Shell of vessel and the input data screen

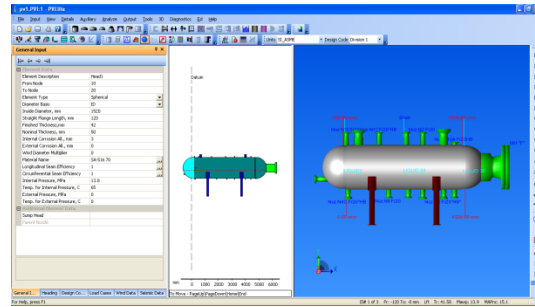


Figure 5. Pressure vessel and the input screen
Results of elements analysis are shown with equations, substitution and code references.

Results of head analyzes:

$$\begin{aligned} \text{Thickness Due to Internal Pressure [Tr]} &: \\ &= (P*(D/2+CA))/(2*S*E-0.2*P) \text{ per UG-27 (d)} \\ &= (138.062*(1520.0000/2+3.0000))/(2*137.90*1.00- \\ &0.2*138.062) \\ &= 38.5834 + 3.0000 = 41.5834 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max. All. Working Pressure at Given Thickness [MAWP]} &: \\ &= (2*S*E*(T-Ca))/((D/2+Ca)+0.2*(T-Ca)) \text{ per UG-} \\ &27 (d) \\ &= \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (2*137.90*1.00*(39.000))/((1520.000/2+3.000)+0.2 \\ &*(39.000)) \\ &= 139.538 - 0.062 = 139.476 \text{ bars} \end{aligned}$$

Maximal Allowable Pressure, New and Cold [MAPNC] :

$$\begin{aligned} &= (2*SA*E*T)/(D/2+0.2*T) \text{ per UG-27 (d)} \\ &= 2*137.90*1.00*42.0000/(1520.0000/2+0.2*42.00 \\ &00) \\ &= 150.741 \text{ bars} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Actual Stress at Given Pressure and Thickness} &: \\ &= (P*((D/2+Ca)+0.2*(T-Ca)))/(2*E*(T-Ca)) \\ &= (138.062*((1520.000/2+3.000)+0.2*(39.000)))/(2* \\ &1.00*(39.000)) \\ &= 136.442 \text{ N./mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percent Elongation per UCS-79 (75*tnom/Rf)*(1-} \\ \text{Rf/Ro)} & 4.777 \% \end{aligned}$$

Results of shell analyzes:

$$\begin{aligned} \text{Thickness Due to Internal Pressure [Tr]} &: \\ &= (P*(D/2+Ca))/(S*E-0.6*P) \text{ per UG-27 (c)(1)} \\ &= (138.062*(1500.0000/2+3.0000))/(137.90*1.00- \\ &0.6*138.062) \\ &= 80.2115 + 3.0000 = 83.2115 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max. All. Working Pressure at Given Thickness [MAWP]} &: \\ &= (S*E*(T-Ca))/((D/2+Ca)+0.6*(T-Ca)) \text{ per UG-27} \\ &(c)(1) \\ &= (137.90*1.00*(81.0000))/((1500.0000/2+3.0000)+ \\ &0.6*81.0000) \\ &= 139.337 - 0.062 = 139.275 \text{ bars} \end{aligned}$$

Maximal Allowable Pressure, New and Cold [MAPNC] :

$$\begin{aligned} &= (SA*E*T)/(D/2+0.6*T) \text{ per UG-27 (c)(1)} \\ &= (137.90*1.00*84.0000)/(1500.0000/2+0.6*84.0000 \\ &) \end{aligned}$$

= 144.714 bars
Actual Stress at Given Pressure and Thickness :

$$= (P*((D/2+CA)+0.6*(T-CA)))/(E*(T-CA))$$

$$= (138.062*((1500.000/2+3.000)+0.6*(81.000)))/(1.00*(81.000))$$

$$= 136.638 \text{ N./mm}^2$$
*Percent Elongation per UCS-79 (50*tnom/Rf)*(1-Rf/Ro) 5.660 %*

Results of Nozzle analyzes: *NI*

Reqd thk per ug 37 (a) cylindrical shell, Tr [Int. Press]:

$$= (P*(D/2+CA))/(S*E-0.6*P) \text{ per UG-27 (c)(1)}$$

$$= (138.00*(1500.0000/2+3.0000))/(137*1.00-0.6*138.00)$$

$$= 80.1731 \text{ mm}$$

Reqd thk per ug 37 (a) nozzle wall, Trn[Int. Press] :

$$= (P*(D/2+CA))/(S*E-0.6*P) \text{ per UG-27 (c)(1)}$$

$$= (138.00*(193.5480/2+3.0000))/(137*1.00-0.6*138.00)$$

$$= 10.6231 \text{ mm}$$

Reinforcement

The Area Available without a pad is Sufficient

Reinforcement Area Required for Nozzle [Ar]:

$$= (Dlr*Tr+2*Thk*Tr*(1-fr1)) \text{ UG-37(c)}$$

$$= (199.5480*80.1731+2*(72.3900-3.0000)*80.1731*(1-1.0000))$$

$$= 159.984 \text{ cm}^2$$

Area corroded condition:

Area in Shell[A1] :

$$= (DL-Dlr)*(ES*(T-Cas)-Tr)-2*(Thk-Can)*(ES*(T-Cas)-Tr)*(1-fr1)$$

$$= (500.328-199.548)*(1.00*(84.0000-3.000)-80.173)-2*(72.390-3.000)*(1.00*(84.000-3.000)-80.1731)*(1-1.000)$$

$$= 2.487 \text{ cm}^2$$

Area in Nozzle Wall[A2] :

$$= (2 * \min(Tlnp,ho)) * (Thk - Can - Trn) * fr2$$

$$= (2 * \min(173.47, 460.00)) * (52.45 - 3.00 - 10.62) * 1.0000$$

$$= 134.713 \text{ cm}^2$$

Area in Welds [A4] :

$$= Wo^2 * fr2 + (Wi-Can/0.707)^2 * fr2$$

$$= 12.0000^2 * 1.0000 + (0.0000)^2 * 1.0000$$

$$= 1.440 \text{ cm}^2$$

Area in Hub[A6] :

$$= (2 * \min(Tlnp,ho,Hubht)) * (Hubtk - Thk) * fr2$$

$$= (2 * \min(173.5, 460.0, 337.4)) * (72.4 - 52.5) * 1.000$$

$$= 69.178 \text{ cm}^2$$

UG-45 Minimum Nozzle Neck Thickness

Requirement: [Int. Press.]

Wall Thickness per UG45(a), tra = 13.6231 mm

Wall Thickness per UG16(b), tr16b = 4.5875mm

Wall Thickness per UG45(b)(1), trb1 = 83.1731mm

Wall Thickness per UG45(b)(2), trb2 = 3.0 mm

Wall Thickness per UG45(b)(3), trb3 =

Max(trb1, trb2, tr16b) = 83.1731 mm

Std. Wall Pipe per UG45(b)(4), trb4 = 11.3344 mm

Wall Thickness per UG45(b), trb =

Min(trb3, trb4) = 11.3344 mm

Final Required Thickness, tr45 =

Max(tra, trb) = 13.6231 mm

Manhole

Reqd thk per ug 37 (a) spherical head, Tr [Int. Press] :

$$= (P*(D/2+CA))/(S*E-0.6*P) \text{ per UG-27 (c)(1)}$$

$$= (138.00*(1500.0000/2+3.0000))/(137*1.00-0.6*138.00)$$

$$= 80.1731 \text{ mm}$$

Reqd thk per ug 37 (a) nozzle wall, Trn Int. Press] :=

*Ro * (Z^{1/2} - 1) per Appendix 1-2 (a)(1)*

$$= 51.641*(1.2224^{1/2}-1)$$

$$= 5.4548 \text{ mm}$$

Intermediate Calc. for nozzle/shell Welds Tmin 19.0000 mm

Results of saddle analyzes

Longitudinal bending stress at midspan

$$= (0.25 * Q * L * K.2 / (\pi * R^2 * (Ts - Ca)))$$

$$= (0.25 * 23882 * 4740.00 * -0.4883) / (3.141 * 753.0000 * 753.0000 * (84.0000 - 3.0000))$$

$$= -0.94 \text{ N./mm}^2$$

Longitudinal bending at saddle

$$= (0.25 * Q * L * K.1 / (\pi * R^2 * (Ts - Ca)))$$

$$= (0.25 * 23882 * 4740.00 * 5.4963) / (3.141 * 753.0000 * 753.0000 * (84.0000 - 3.0000))$$

$$= 10.57 \text{ N./mm}^2$$

Tangential shear in shell near saddle

$$= Q * K.4 * ((L-H-2A)/(L+H))/(R*(Ts-Ca))$$

$$= 23882 * 1.1707 * ((4740.00 - 760.00 - 2 * 1554.00)/(4740.00 + 760.00))/(753.0000 * (84.0000 - 3.0000))$$

$$= 0.71 \text{ N./mm}^2$$

Circumferential stress at horn saddle

$$= -Q/(4*TEM*(SADWTH+1.56*sqrt(R*TCA))) - 12*Q*R*K.7/(L*TEB)$$

$$= -23882 / (4 * 81.0000 * (220.00 + 1.56 * sqrt(753.0000 * 81.0000))) - 12.0 * 23882 * 62.75 * 0.0530 / (4740.0005 * 6561.0000)$$

$$= -4.80 \text{ N./mm}^2$$

Circumferential stress at bottom shell

$$= (Q*(K.9/(TEM9 * WPDWTH)))$$

$$= (23882 * (0.7603 / (106.4000 * 300.000)))$$

$$= -5.58 \text{ N./mm}^2$$

DISSCUSSION

Design of pressure vessel can be finished quickly by applying numerous calculations in software. The drawing process was simpler associated to other software.

This research only investigated a part of parameter design. There are other parameters that are not considered such as thermal loads, wind loads, earthquake, transportation, erection,

fabrication methods, etc. However this insufficiency can be overcome by mastering software.

CONCLUSION

Mechanical design of pressure vessel for three phase separator had been done using graphical based software. Drawing process was very easy and input parameter can be entered in the same screen. The result fully complied to standard code and had been employed on practical design of pressure vessel.

Research can be explored to take into account other parameters. Selection material referring to ASME standard can also been developed. The behaviors of pressure vessels in case of fluctuating load could be a challenging matter for future research.

REFERENCES

- Arnold, K and Stewart, M., 1999, *Surface Production Operation: Design of Oil-Handling Systems and Facilities*, Gulf Professional Publishing Company, Houston
- ASME, 2007, *Boiler & Pressure Vessel Code: Rules for Construction of Pressure vessels, (ASME VIII), Division I*, ASME.
- Cokorda Prapti Mahandari, 2004, *Pemodelan Kebocoran Tangki Tekan Menggunakan Perangkat Lunak Matlab*, Proceeding KOMMIT, Universitas Gunadarma, Jakarta,
- Dionne, M.M., 1998, *"The dynamic simulation of a three phase separator," Master's thesis*, University of Calgary, Calgary
- Jimit Vyas and Mahavir Solanski, 2008, *Design and Analysis of pressure Vessel*, Dissertation, U.V. Patel College of Engineering, Gujarat
- Taylor, T and Lucia, A 1995., *"Modeling and analysis of multicomponent separation processes," Separation Systems and Design*, pp. 19–28, New York.

Karakteristik Perpindahan Panas Peleburan Parafin- Al_2O_3 Sebagai Material Penyimpan Panas

Dailami¹, Hamdani², Ahmad Syuhada², Irwansyah²

- 1) Program Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Syiah Kuala
- 2) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, (23111)
Jln. Syech Abdul Rauf No.7 Banda Aceh, e-mail : hamdani_umar@yahoo.com

Abstract

Pemanfaatan energi surya secara optimal sebagai energi alternatif masih terkendala akibat perubahan lingkungan, geografis dan sifat radiasi surya yang tidak berlangsung terus menerus. Perkembangan teknologi penyimpan energi surya memperlihatkan prestasi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Diantara teknologi yang populer adalah penggunaan material berubah fasa (phase change material, PCM) sebagai media penyimpan energi surya dalam bentuk panas laten. Namun demikian, material tersebut memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga mempengaruhi daya penyimpanan panas dan membatasi penerapannya pada beragam aplikasi. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari karakteristik perpindahan panas peleburan material parafin yang ditaburi partikel Al_2O_3 . Penelitian ini dilaksanakan dengan terlebih dahulu melakukan pengujian sifat termal lilin parafin (paraffin wax) sebagai material penyimpan panas menggunakan peralatan DSC (Differential Scanning Calorimetry). Dilanjutkan dengan persiapan dan pengujian karakteristik perpindahan panas peleburan material penyimpan panas yang ditaburi partikel alumina (Al_2O_3) dengan perbedaan fraksi massa 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Berdasarkan hasil pengujian ditemukan bahwa lilin parafin- Al_2O_3 memiliki kapasitas penyimpan panas yang kecil dibandingkan dengan lilin parafin, akan tetapi memiliki laju perpindahan panas yang lebih tinggi. Pada material lilin parafin, perpindahan panas yang terjadi selama proses peleburan dan solidifikasi didominasi oleh perpindahan panas konduksi. Sedangkan pada material lilin parafin-4% Al_2O_3 , didominasi perpindahan panas konveksi. Pengaruh partikel alumina terhadap konduktivitas termal teramati jelas dalam proses solidifikasi dibandingkan pada proses peleburan (melting). Hal ini disebabkan pada proses solidifikasi perpindahan panas sangat didominasi oleh konduksi.

Kata kunci: penyimpan energi surya, paraffin- Al_2O_3 , laju perpindahan panas

Notasi:

- Q jumlah energi panas yang disimpan atau dilepaskan dalam bentuk panas sensibel (kJ),
 T_i suhu awal ($^{\circ}C$),
 T_f suhu akhir ($^{\circ}C$),
m massa bahan yang digunakan untuk menyimpan energi termal (kg),
 C_p panas jenis bahan yang digunakan untuk menyimpan energi panas (kJ/kg. $^{\circ}C$)
 h_m panas laten fusi atau penguapan (kJ/kg).

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai penyedia energi ditujukan untuk mengurangi biaya awal dan mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar fosil (Sharma et al, 2009). Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang paling banyak digunakan adalah pemanfaatan energi surya untuk penghasil energi listrik atau sebagai pemanas air (Buddhi D, 1977). Namun, masalah utama pada pemanfaatan energi surya adalah sifat radiasi surya yang intermiten, dan besarnya radiasi yang tersedia dipengaruhi oleh waktu, kondisi

cuaca dan posisi lintang. Untuk pemecahan permasalahan tersebut, teknologi yang dianggap sangat cocok adalah penyimpanan energi termal (Thermal Energy Storage, TES) (Sharma et al, 2009). Sistem ini terdiri dari material dengan massa tertentu yang mampu menyimpan energi termal dalam bentuk panas atau dingin.

Pada dasarnya penyimpan energi termal dapat diklasifikasikan sebagai penyimpan energi dalam bentuk panas laten, panas sensibel dan termokimia. Diantara jenis penyimpanan energi tersebut, yang paling menarik adalah penyimpanan energi dalam bentuk panas laten menggunakan material berubah fasa (phase change material, PCM). Keuntungan menggunakan material berubah fasa adalah mampu menyimpan kalor dalam kapasitas besar dengan volume material yang kecil dan proses penyerapan dan pengeluaran energi panas terjadi pada temperatur yang hampir konstan (Buddhi D, 1977).

Dalam sistem penyimpanan energi panas laten, salah satu elemen penting adalah material penyimpan kalor. Kebanyakan kajian dilakukan untuk pemanfaatan material penyimpan panas dari hidrat garam, parafin, dan senyawa organik (Abhat, 1981). Namun, material

tersebut memiliki konduktivitas termal yang rendah dan sehingga membutuhkan waktu yang cukup untuk proses peleburan dan pemadatan, yang mengurangi daya keseluruhan dari perangkat penyimpanan panas dan dengan demikian akan membatasi aplikasinya (Buddhi D, 1977).. Untuk mengatasi masalah ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi konsep-konsep peningkatan laju perpindahan panas, diantaranya menggunakan pengaduk, atau mengalirkan slurry dalam alat penukar panas. Akan tetapi, metode ini akan meningkatkan biaya pembuatan alat penukar kalor dan menambah kompleksitasnya pembuatan unit penyimpanan energi termal.

Berdasarkan pertimbangan di atas dapat disimpulkan bahwa masih diperlukan penelitian lanjutan guna melakukan kajian peningkatan laju perpindahan panas dalam material penyimpan energi dalam bentuk panas laten. Penelitian tersebut dapat diarahkan pada pemilihan material dan perancangan alat penukar kalor. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian peningkatan konduktivitas termal lilin paraffin (paraffin wa) sebagai material penyimpan kalor dengan cara menyebarkan partikel alumina (Al_2O_3) dalam lilin paraffin. Untuk memperoleh informasi kehandalan lilin paraffin-partikel alumina sebagai material penyimpan panas akan dikembangkan alat uji berupa alat penukar panas untuk mengetahui kemampuan penyimpanan kalor melalui siklus termal penyerapan dan pengeluaran kalor.

Penyimpan Energi Panas

Energi panas dapat disimpan dalam bentuk panas sensibel dan panas laten atau gabungan panas sensibel dan panas laten. Pada penyimpanan panas sensibel energi panas disimpan dengan menaikkan temperatur suatu medium padat atau cair dengan menggunakan kapasitas panas yang dimiliki bahan. Jumlah energi panas yang tersimpan dalam bentuk panas sensibel dapat dihitung dengan :

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m \cdot C_p \cdot dT$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \dots \dots \dots (1)$$

Mengacu pada persamaan (1) terlihat bahwa jumlah energi panas yang tersimpan dalam bentuk panas sensibel tergantung pada massa, nilai panas spesifik dari bahan yang digunakan untuk menyimpan energi panas dan perubahan suhu. Pada prinsipnya penyimpanan panas laten adalah menyimpan panas memanfaatkan panas laten dari bahan. Panas laten adalah jumlah panas yang diserap atau dilepaskan selama perubahan fasa dari material penyimpan panas. Ada dua jenis panas laten, panas laten fusi dan panas laten penguapan. Panas laten fusi adalah jumlah panas yang diserap atau dilepaskan

ketika perubahan fase padat ke fase cair material atau sebaliknya, sedangkan panas laten penguapan adalah jumlah energi panas yang diserap atau dilepaskan ketika perubahan fase cair ke fase uap material atau sebaliknya. Jumlah energi panas yang tersimpan dalam bentuk panas laten dalam suatu material dapat dihitung dengan:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} m \cdot C_p \cdot dT + m \cdot \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} m \cdot C_p \cdot dT$$

$$Q = m [C_{sp}(T_m - T_m) + \Delta h_m + C_{lp}(T_m - T_m)] (2)$$

Persamaan (2) menjelaskan bahwa jumlah energi panas yang tersimpan sebagai panas laten tergantung pada massa dan nilai panas laten dari bahan yang digunakan. Bahan yang digunakan untuk menyimpan panas energi dalam bentuk panas laten disebut material berubah fasa (*phase change material, PCM*).

Perbandingan Penyimpan Panas Laten dengan Penyimpan Panas Sensibel

Pada penyimpanan panas laten volume yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan penyimpanan panas sensibel. Penyimpan panas laten mampu menyimpan sebagian besar energi panas dengan perubahan temperatur yang kecil, akan tetapi aplikasi penyimpanan panas laten masih menghadapi banyak kendala seperti tingginya harga material penyimpanan panas laten, stabilitas sifat-sifat termodinamik material setelah mengalami siklus dan konduktivitas termal material yang rendah.

Material Penyimpan Panas Laten

Semua material dapat digolongkan sebagai material berubah fasa, yang membedakan hanyalah adalah temperatur perubahan fasa. Masing-masing material memiliki temperature perubahan fasa yang berbeda. Hal yang penting dalam memilih material penyimpan panas panas laten adalah temperature berubah fasa yang sesuai dengan range temperature aplikasinya. Oleh karena itu, tidak ada material yang spesifik yang disebut sebagai material ideal untuk digunakan sebagai material berubah fasa [1].

Peningkatan Konduktivitas Termal Material Penyimpan Panas Laten

Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam usaha peningkatan konduktivitas panas PCM, diantaranya dengan membubuhkan material *additive*. Namun sampai saat ini masih sangat terbatas literatur yang menjelaskan secara detail metode tersebut. Hoover et al, merupakan kelompok peneliti pertama yang berusaha menggunakan partikel

terdispersi untuk meningkatkan konduktivitas panas PCM ($\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), partikel yang digunakan bubuk aluminium dan bubuk alumina (Al_2O_3).

Chow et al, mengusulkan dua teknik untuk meningkatkan konduktivitas termal material penyimpan panas menggunakan *Li* untuk aplikasi pada suhu tinggi. Ide dari teknik peningkatan pertama adalah menggunakan bentuk wadah yang berbeda untuk merangkul PCM berbasis LiH. Pada lapisan antar permukaan diisi dengan logam Li. Teknik peningkatan kedua mengusulkan komposit yang terdiri dari logam Ni dan LiH. Hasil menunjukkan bahwa kedua teknik tersebut ternyata dapat meningkatkan konduktivitas termal dari PCM asli.

Hal ini menunjukkan dengan jelas bahwa ide untuk menggunakan komposit PCM mungkin menjadi cara yang efektif untuk lebih meningkatkan konduktivitas termal dari PCM asli. Baru-baru ini, Mettawee dan Assassa, menyiapkan komposit dari lilin parafin melalui penambahan bubuk aluminium berukuran mikron ($80 \mu\text{m}$).

PCM komposit ini kemudian diuji di satu sektor dari kolektor surya kompak. Telah diamati bahwa waktu pengisian panas (pada temperatur leleh) karena pemanfaatan komposit 0,5% berat menurun sebesar 60%. Ho dan Gao, menaburkan nanopartikel alumina (Al_2O_3) dalam n-octadecane ($\text{C}_{18}\text{H}_{38}$). Konduktivitas termal dari sampel NePCM (0,5 dan 10% berat) diukur dengan menggunakan teknik THW. Nilai-nilai konduktivitas termal hasil pengukuran pada temperatur dan fraksi massa yang berbeda. Peningkatan konduktivitas termal secara konsisten diamati sebagai fraksi massa dinaikkan pada suhu konstan. Tingkat peningkatan juga diamati lebih besar pada suhu yang lebih tinggi. Alumina (Al_2O_3) adalah salah satu dari nanopartikel

Metodologi Penelitian

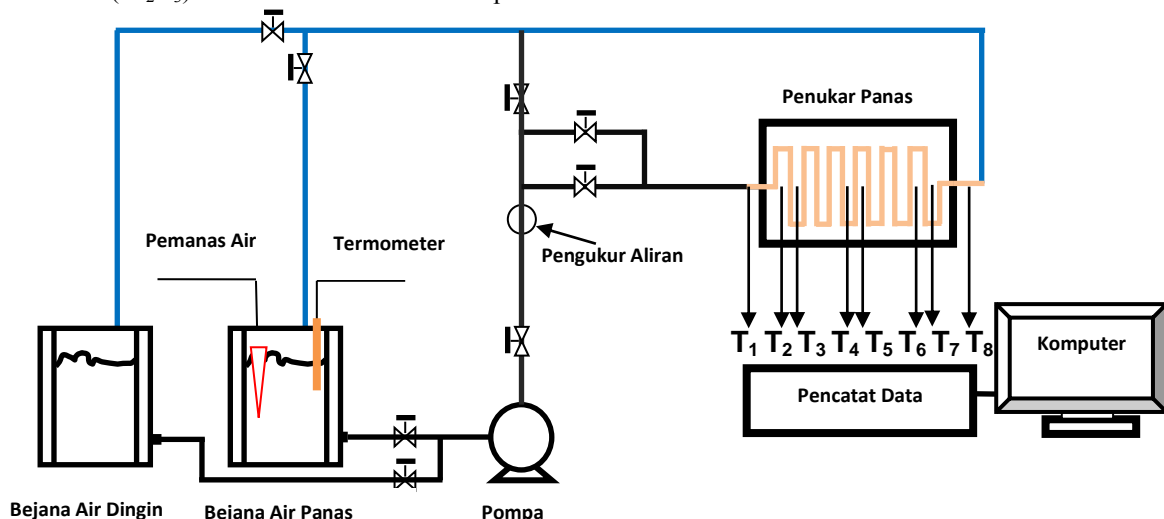
Penelitian ini dilaksanakan dalam tahap pengujian sifat termal lilin parafin (paraffin wax) sebagai material penyimpan panas menggunakan peralatan DSC (Differential Scanning Calorimetry). Dilanjutkan dengan tahap penyiapan material penyimpan panas yang dilengkapi dengan partikel alumina (Al_2O_3) sebagai material pengisi untuk meningkatkan konduktivitas termal material.

Usaha peningkatan konduktivitas dilakukan dengan menaburkan partikel Al_2O_3 dalam lilin parafin. Partikel Al_2O_3 yang digunakan adalah partikel alumina yang dijual bebas dipasaran. Data sifat-sifat fisik dan kimia untuk partikel alumina (Al_2O_3) dirujuk pada literatur. Penyiapan material penyimpan panas lilin parafin-partikel alumina dimulai dengan memanaskan lilin parafin pada temperatur konstan 10°C di atas temperatur leleh

lilin parafin. Setelah lilin parafin mencair seluruhnya kemudian partikel alumina ditabur dengan menjaga terjadinya penyebaran yang merata. Perbandingan fraksi volume partikel alumina yang digunakan adalah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%.

Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Material Penyimpan Panas

Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari karakteristik perpindahan panas penggunaan lilin paraffin-partikel alumina (Al_2O_3) sebagai material penyimpan panas. Untuk mencapai tujuan tersebut akan buat alat uji berupa alat penukar kalor tabung persegi empat yang dilengkapi dengan pipa penghantar fluida pemanas. Komponen utama



Gambar 1. Sketsa perangkat pengujian karakteristik perpindahan panas

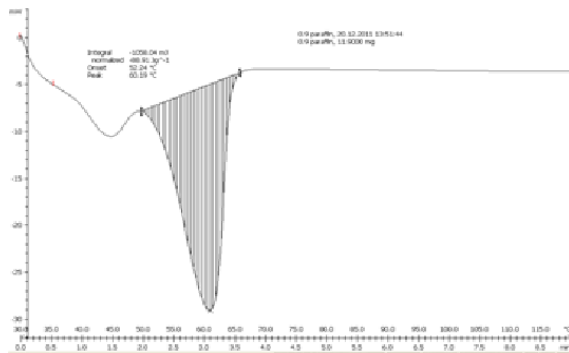
yang paling umum dan murah digunakan oleh banyak peneliti dalam penyelidikan eksperimental mereka.

peralatan uji yang digunakan terdiri dari alat penukar kalor, tabung pemanas air, pompa, akusisi data dan

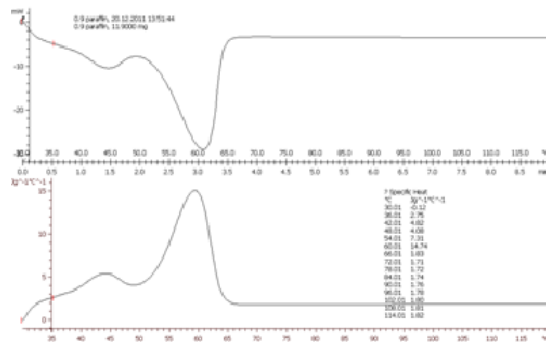
komputer. Gambar 1, memperlihatkan secara lengkap rangkaian peralatan uji yang digunakan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa data hasil pengujian menggunakan DSC berupa temperatur leleh, entalpi panas laten dan kapasitas panas lilin parafin sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 2 dan 3.

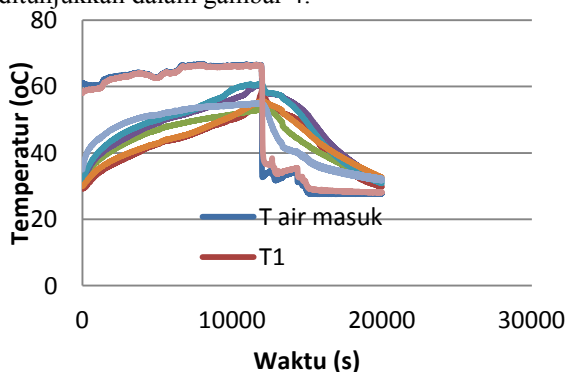


Gambar 2. Hasil pengujian DSC untuk temperatur leleh dan entalpi laten lilin parafin



Gambar 3. Hasil pengujian DSC untuk kapasitas panas lilin parafin

Karakteristik perpindahan panas material penyimpan panas ditunjukkan dalam bentuk perubahan temperatur material pada proses peleburan dan pembekuan. Hasil pengujian menggunakan lilin parafin sebagai material penyimpan panas ditunjukkan dalam gambar 4.

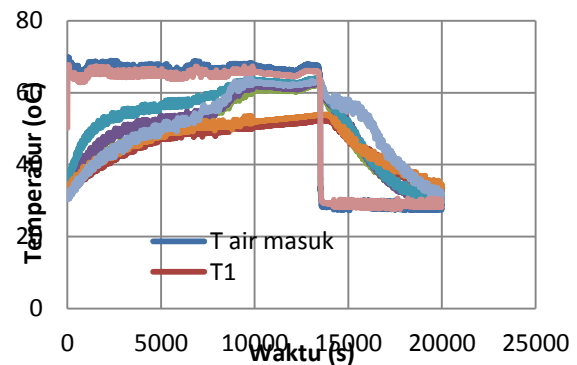


Gambar 4. Distribusi temperatur parafin

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa, pada awal pemanasan, hasil pengukuran T3 dan T6

menunjukkan temperatur meningkat secara cepat sampai pada temperatur luluh parafin dan kenaikan temperatur mulai melambat.

Hal ini dapat dinyatakan bahwa pada awal pemanasan, lilin parafin menyerap panas sensibel dan kemudian diikuti oleh penyerapan panas laten yang berlangsung pada temperatur hampir konstan. Grafik tersebut juga memperlihatkan perpindahan panas yang terjadi selama proses peleburan sangat didominasi oleh perpindahan panas konduksi. Sedangkan pada proses pembekuan, temperatur parafin menurun dengan cepat, dan perpindahan panas seluruhnya terjadi secara konduksi.



Gambar 5. Distribusi temperatur lilin parafin - 4% Al₂O₃

Namun demikian, karakteristik perpindahan panas lilin parafin dengan sebaran dispersi - 4% Al₂O₃ menunjukkan bahwa pada saat awal proses pemanasan, temperatur PCM meningkat dengan cepat sampai temperatur leleh parafin dan setelah temperatur mencapai 60 °C, kenaikan temperatur cererung konstan, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa setelah PCM melebur dan mencapai fasa cair, perpindahan panas yang dominan terjadi adalah perpindahan panas konveksi. Berdasarkan grafik juga terlihat temperatur pada T1 dan T2 tidak mencapai 55°C, hal ini juga membuktikan bahwa PCM yang berada pada bagian atas pipa telah mencair seluruhnya dan akibat adanya konveksi alamiah dalam fasa cair yang mengakibatkan pergerakan fluida ke bagian atas menuju permukaan tabung penukar panas.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan dapat disimpulkan bahwa pengaruh partikel alumina jauh lebih jelas dalam proses pematatan dari pada proses peleburan. Karena, pada proses menjadi padat, perpindahan panas didominasi oleh konduksi. Disamping itu, selama proses menjadi padat, lapisan padat terbentuk dari permukaan perpindahan panas dan tetap bergerak dengan pola sejajar. Meskipun konveksi alamiah terjadi pada PCM cair di tahap sebelumnya, laju perpindahan panas ini berkurang cepat karena proses menjadi padat berlangsung dan modus perpindahan panas

menjadi didominasi oleh perpindahan panas konduksi.

Power a LiBr/H₂O Absorption Cooling System”, Renewable Energy, Vol. 36, pp. 108-117, 2011.
Arasu.A.V, Agus P.Sasmito, A.S.Mujamdar.
Numerical Performance Study Of Paraffin Wax Dispersed With Alumina In A Concentric Pipe Latent Heat Storage System

Kesimpulan

1. Penambahan partikel yang memiliki konduktivitas termal tinggi, akan mampu meningkatkan konduktivitas termal lilin parafin, untuk pemakaian sebagai material penyimpan panas.
2. Penambahan partikel yang memiliki konduktivitas termal tinggi, akan menurunkan panas laten material penyimpan panas, dan hal ini juga mengakibatkan perpindahan panas yang terjadi selama proses peleburan dan pepadatan didominasi oleh perpindahan panas konduksi.
3. Pengaruh partikel alumina jauh lebih jelasteramati pada proses solidifikasi dari pada proses peleburan. Karena, proses solidifikasi, berlawanan dengan proses peleburan, yang didominasi oleh konduksi.
4. Partikel yang terdispersi pada PCM, dibandingkan dengan PCM tanpa partikel, dapat memiliki tingkat ekstraksi panas jauh lebih tinggi selama proses solidifikasi karena panas laten yang lebih rendah dan konduktivitas termal lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- Sharma A, V.V. Tyagi, C.R. Chen D. Buddhi., *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*’, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 318–345
- Buddhi D. *Thermal performance of a shell and tube PCM storage heat exchanger for industrial waste heat recovery*. Presented at solar world congress, Taejon, Korea, August 24–30, 1977.
- Abhat A. *Performance studies of a finned heat pipe latent heat thermal energy storage system*. Sun, NY: Pergamon Press; 1981. pp. 541–546.
- Maccracken CD. *PCM bulk storage*. In: *Proceedings of the international conference on energy storage*; 1981. p. 159–65.
- Smith RN, Ebersole TE, Griffin FP. *Solar Energy Eng* 1980;102:112.
- Morcos VH. *Investigation of a latent heat thermal energy storage system*. Solar Wind Technol, Vol. 7 (2/3), pp. 197–202, 1990.
- Mettawee Eman-Bellah S. and Assassa Ghazy M.R., “*Thermal Conductivity Enhancement in a Latent Heat Storage System*”, Solar Energy, Vol. 81, pp. 839-845, 2007.
- Agyenim Francis, Eames Philip, and Smyth Mervyn, “*Experimental Study on the Melting and Solidification Behaviour of a Medium Temperature Phase Change Storage Material (Erythritol) System Augmented with Fins to*

Analisa Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Bush 25 OEM & 25SH OEM

Frendy Lumban Batu, Myrna Ariati Mochtar*, Alfonsius Billy Joe Haslim

Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI

Kampus UI baru, Depok, Jawa Barat, 16424

Telp. +62217863510, Fax. +62217872350.

*E-mail: myrna@metal.ui.ac.id

Abstract

Heat Treatment process can increase the quality of materials, and could not be separated in the manufacturing industry. The research was conducted on bush 25 OEM & 25SH OEM with hardness testing, metallography, and microstructure. Results of testing the surface hardness and core hardness values showed 25SH OEM has better value than 25 OEM. The Microstructure test results showed the number of grain 25SH OEM much less than 25 OEM, Thus affecting the material properties. Diffusion process become one important factor in the heat treatment process.

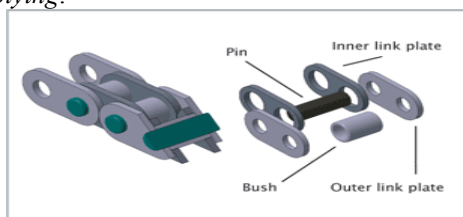
Keywords: Bush, Diffusion, Heat Treatment, Hardness Value, Microstructure

PENDAHULUAN

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat mekanik dan struktur mikro dari logam tersebut (Hadi, 2010). Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk menghasilkan perubahan yang diinginkan dalam struktur metalurgi dan dengan demikian sifat pada logam. Perlakuan panas dapat mempengaruhi sifat dari kebanyakan logam dan paduan. Tetapi paduan besi, terutama baja, mengalami kenaikan paling signifikan dari segi sifat (Totten, 2007). Perlakuan panas sering menjadi bagian pokok dari manufaktur yang tidak terpisahkan, tetapi beberapa kali tanpa pendekatan industri (Smoljan, 2007).

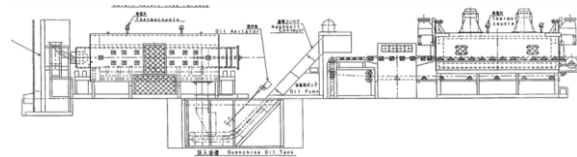
Beberapa industri menjadikan proses perlakuan panas sebagai proses utama produksinya. Seperti industri mobil (Adamczyk & Grajcar, 2007), pembuatan baja perkakas (Qamar et al, 2007; Qamar, 2009), baja pegas (Htun, Kyaw, Lwin, 2008), dan pada industri rantai kendaraan bermotor (Alfonsius et al, 2012). Pengetahuan dalam aplikasi industri rantai kendaraan bermotor sangat penting, demi mendukung peningkatan omzet penjualan kendaraan, seperti sepeda motor.

Bush (gambar 1) merupakan salah satu part komponen rantai yang diproses di rotary furnace (gambar 2) yang merupakan tipe dari continuous carburizing furnace (Davis, 2002). Mesin ini lebih berguna untuk proses yang melibatkan small part supplying.



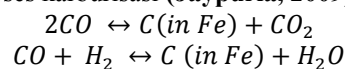
Gambar 1. Komponen Rantai Bush

Dalam furnace ini terdapat 3 proses utama, yaitu karburisasi, kuens, dan temper. Proses karburisasi menjadi faktor utama yang menentukan nilai kekerasan daripada bush, dimana proses ini berkisar antara temperatur 850-950°C. Kesuksesan operasi dari proses karburisasi tergantung pada tiga variabel utama, yaitu temperatur, waktu, dan komposisi atmosfer.



Gambar 1. Rotary Furnace

Proses Difusi atom karbon merupakan mekanisme penting dalam peningkatan kekerasan komponen bush dalam mesin ini, dimana pada akhir proses hingga temper terbentuk protective oxide films. Secara umum reaksi dari proses difusi karbon dalam proses karburisasi (Jaypuria, 2009) adalah:



METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai kekerasan permukaan, kekerasan dalam, dan mikrostruktur dari bush 25 OEM dan 25SH OEM. Terdapat 4 tahap utama, yaitu pengadaan sampel, preparasi sampel, pengujian sampel, dan pengambilan data.

Pengadaan Sampel

Sampel bush dari tipe 25 OEM dan 25SH OEM disiapkan 3 jenis yaitu sebelum proses heat treatment, setelah quenching, dan setelah proses tempering.

Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan untuk 3 jenis sampel pengujian, yaitu preparasi sampel untuk pengujian kekerasan permukaan, preparasi sampel untuk

pengujian kekerasan dalam, dan preparasi sampel untuk foto mikrostruktur.

Preparasi sampel kekerasan permukaan hanya dilakukan pengamplasan saja, untuk membersihkan permukaan dari pengotor. Sedangkan untuk preparasi sampel kekerasan dalam, untuk memudahkan pegangan ketika diampas, maka harus di *mounting* terlebih dahulu menggunakan bakelit. Dan preparasi sampel mikrostruktur menggunakan prosedur metalografi, yaitu *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Etsa yang digunakan untuk melihat struktur mikro adalah Nital 2%, sedangkan untuk melihat butir menggunakan Picral 4%.

Pengujian Sampel

Untuk pengujian kekerasan permukaan dan permukaan dalam menggunakan mesin *Vickers* (gambar 2), mengacu pada ASTM E92 – 82. Sedangkan untuk pengujian mikrostruktur menggunakan mikroskop optik.



Gambar 2. Mesin *Vickers*

HASIL

Tabel 1. Data Kekerasan Permukaan Sampel *Raw Material*.

| Jenis Sampel | Maks | Min | Rata-rata |
|---------------|--------------|-------|-----------|
| | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 231,6 | 229,1 | 225,2 |
| Bush 25SH OEM | 244,3 | 227,3 | 235,4 |

Tabel 2. Data Kekerasan Permukaan Sampel *After Quench*.

| Jenis Sampel | Maks | Min | Rata-rata |
|---------------|--------------|-------|-----------|
| | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 866,4 | 836,2 | 851,8 |
| Bush 25SH OEM | 859,8 | 835,6 | 844,6 |

Tabel 3. Data Kekerasan Permukaan Sampel *After Temper*.

| Jenis Sampel | Maks | Min | Rata-rata |
|---------------|--------------|-------|-----------|
| | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 807,6 | 748,4 | 783,4 |
| Bush 25SH OEM | 808,1 | 778,9 | 787,4 |

Tabel 4. Data Kekerasan Dalam Sampel *Raw Material*.

| Jenis Sampel | Maks | Min | Rata-rata |
|---------------|--------------|-------|-----------|
| | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 233,4 | 221,3 | 220,9 |
| Bush 25SH OEM | 237,8 | 216,8 | 225,6 |

Tabel 5. Data Kekerasan Dalam Sampel *After Quench*.

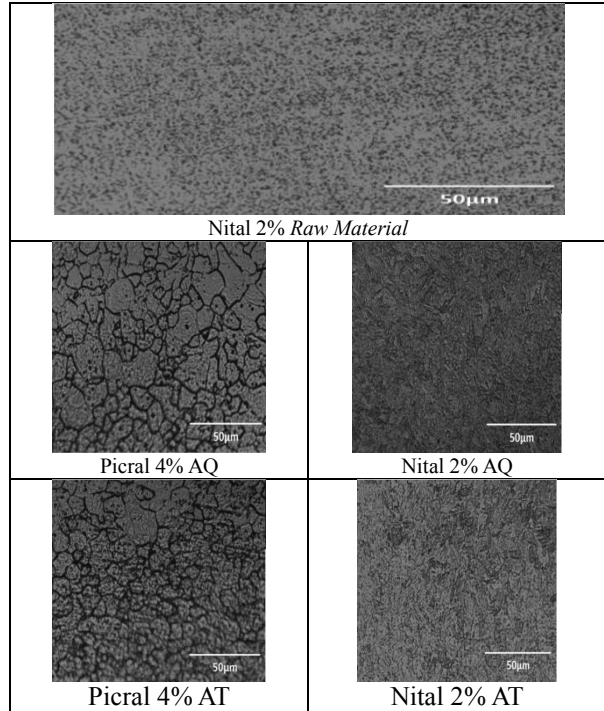
| Jenis Sampel | Case (mm) | Maks | Min | Rata-Rata |
|--------------|-----------|--------------|-------|-----------|
| | | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 0,1 | 613,1 | 605,4 | 608,8 |
| | 0,15 | 488,9 | 448,0 | 464,7 |
| Bush | 0,1 | 634,6 | 604,5 | 620,8 |

| | | | | |
|----------|------|-------|-------|-------|
| 25SH OEM | 0,15 | 550,3 | 516,3 | 536,8 |
|----------|------|-------|-------|-------|

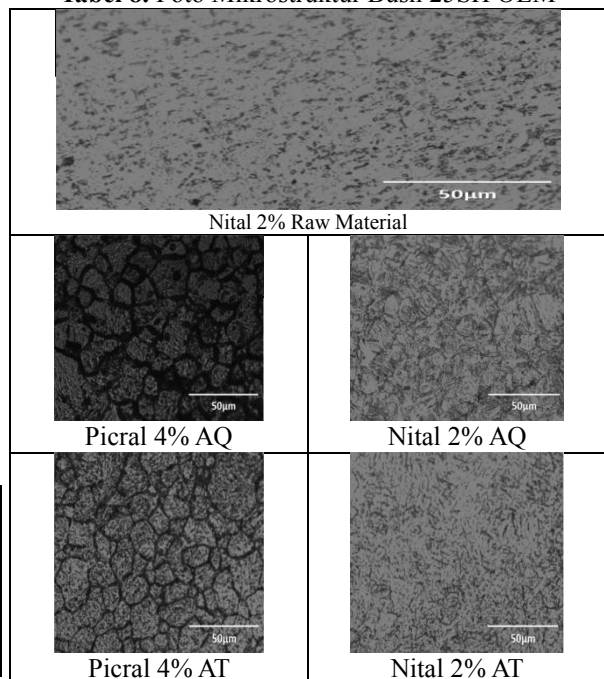
Tabel 6. Data Kekerasan Dalam Sampel *After Temper*.

| Jenis Sampel | Case (mm) | Maks | Min | Rata-Rata |
|---------------|-----------|--------------|-------|-----------|
| | | Kekerasan HV | | |
| Bush 25 OEM | 0,2 | 517,3 | 492,4 | 505,3 |
| Bush 25SH OEM | 0,3 | 486,1 | 461,4 | 470,4 |

Tabel 7. Foto Mikrostruktur Bush 25 OEM



Tabel 8. Foto Mikrostruktur Bush 25SH OEM



PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 1 sampai 3, untuk nilai kekerasan permukaan, dapat dilihat bahwa bush 25SH OEM memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan 25 OEM. Perbedaan nilai kekerasan disebabkan bahan baku masing-masing material yang berbeda, dengan perlakuan awal yang berbeda. Peningkatan nilai kekerasan yang signifikan antara *raw material* dan *after quench* menunjukkan bahwa difusi atom karbon telah masuk ke dalam sampel bush, dan meningkatkan nilai kekerasan material.

Nilai kekerasan dalam sampel bush 25SH OEM, berdasarkan tabel 4 sampai 6, menunjukkan nilai kekerasan dalam yang lebih tinggi dibandingkan dengan 25 OEM. Perbedaan nilai kekerasan masing-masing material berdasarkan kedalaman pengujian menunjukkan bahwa kedalaman difusi atom karbon berbeda-beda, yang dapat dipengaruhi oleh parameter proses karburisasi yang berbeda, dan variabel kuens dan temper yang berbeda.

Berdasarkan tabel 7 dan 8, pada sampel *raw material* dapat dilihat fasa yang muncul adalah campuran *ferrite* dan *pearlite*. Dilihat juga munculnya *austenite* sisa diantara jarum-jarum *martensite* pada sampel *after quenching* menunjukkan proses *quenching* yang tidak optimal. Serta pada sampel *after temper* tidak didapat lagi adanya *austenite* sisa dan *martensite* berubah menjadi *martensite temper*. Untuk sampel 25SH OEM memiliki jumlah batas butir yang lebih sedikit dibandingkan dengan 25 OEM, sehingga memiliki daerah rentan yang lebih sedikit & menyebabkan material memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Proses Perlakuan Panas mampu meningkatkan kualitas dari material bush. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bush 25SH OEM memiliki nilai yang lebih baik dari 25 OEM, yang dipengaruhi oleh perlakuan awal material dan variable proses karburisasi, kuens dan temper. Hasil pengujian mikrostruktur menunjukkan bush 25SH OEM dan 25 OEM memiliki fasa *martensite temper* pada produk *after temper*, dengan jumlah butir 25SH OEM lebih sedikit dibandingkan 25 OEM, sehingga mempengaruhi sifatnya.

SAMBUTAN

Penulis ketiga mengucapkan terima kasih kepada BPKLN atas pembiayaan kuliah penulis melalui beasiswa FAST TRACK.

DAFTAR PUSTAKA

Adamczyk, J., & Grajcar, A., 2007, Heat Treatment and Mechanical Properties of Low Carbon Steel with Dual-Phase Microstructure, *J. AMME*, vol. 22, issue. 1, 13-20.
Alfonsius, B. J. H., Frendy, L. B., Myrna, A. M., & Muhammad, M., 2012, Analisa Pemetaan Proses

Perlakuan Panas dan Mikrostruktur dari Komponen Rantai Pelat, *Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) III*, Universitas Trisakti, 28 Juni 2012.

ASTM E92 – 82, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.

Davis, J. R., 2002, *Surface Hardening of Steels: understanding the basics*, ASM International, USA.

Hadi, Q., 2010, Pengaruh Perlakuan Panas pada Baja Konstruksi ST37 terhadap Distorsi, Kekerasan, dan Perubahan Struktur Mikro, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*, Palembang, 13-15 Oktober 2010.

Htun, M. S., Kyaw, S. T., & Lwin, K. T., 2008, Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel, *J. Metals, Materials, & Minerals*, vol. 18, no. 2, 191-197.

Jaypuria, S. K., 2009, "Heat Treatment of Low Carbon Steel", *Project Report Mechanical Engineering*, National Institute of Technology Rourkela, India.

Qamar, S. Z., Sheikh, A. K., Afif, A. F. M., Pervez, T., Siddiqui, R. A., 2007, Heat Treatment of a Hot-Work Die Steel, *J. AMME*, vol. 28, issue. 8, 503-508.

Qamar, S. Z., 2009, Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of H11 Tool Steel, *J. AMME*, vol. 35, issue. 2, 115-120.

Smoljan, B., 2007, An Analysis of Heat Treatment Process Planning, *J. AMME*, vol. 20, issue. 1-2, 563-566.

Totten, G. E., 2007, *Steel Heat Treatment Handbook*, 2nd ed, Taylor & Francis Group, LLC., USA

Kajian Potensi Penggunaan Lumpur Lapindo sebagai Perekat Briket Arang Kayu sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan

Gabriela Amanda Gita Aristia, Frischa Marcheliana Wachid, M. Yusuf Hakim W., Patar Roy
Fernandes N., Moh. Fahrudin

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus Sukolilo 60111 Surabaya
Telp. (031) 5943351, Fax. (031) 5943351
gabrielaamandagita@hotmail.com, frischamw@yahoo.com

Abstract

Human dependence on fossil energy sources (petroleum and coal) led to massive exploitation of energy resources, necessitating the use of alternative energy sources to reduce dependence on fossil energy sources. In this study, it will be assessed the potential use of the Lapindo mud as an adhesive on wood charcoal briquettes. In this research, the wood charcoal and Lapindo mud mixture composition were varied. After going through the combustion examination step, the composition that appropriate to pass this examination are mixing composition of charcoal and Lapindo mud with ratio 4:1 and 5:1. The results showed that the adhesive Lumpur Lapindo briquettes result a calorific value of 5723 gr/cal (for mixture ratio of 4: 1) and 5805 gr/cal (for mixture ratio of 5: 1). Therefore we can conclude that Lapindo mud has the potential to be used as an adhesive on wood charcoal briquettes, because the caloric value is greater than charcoal briquettes with starch adhesive which only has a calorific value of 5000 gr/cal.

Kata Kunci : Lumpur lapindo, briket arang kayu, nilai kalor.

Isu yang berkembang di Indonesia saat ini berkaitan dengan energi yang dibutuhkan sehari-hari. Banyak masyarakat kita yang bergantung dengan bahan bakar minyak (BBM) untuk melakukan proses pembakaran. Kita ketahui bahwa bahan bakar minyak merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga, dapat habis pada masanya kelak. Hal tersebut mendorong berbagai kalangan melakukan berbagai upaya untuk mendapatkan sumber-sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM dan gas.

Di beberapa daerah, arang menjadi bahan bakar yang kerap digunakan dalam memasak. Misalnya saja di pedesaan, masyarakat cenderung memilih arang atau kayu karena bahan bakunya yang murah dan mudah didapatkan. Namun demikian, masih terdapat beberapa kelemahan pada bahan bakar arang dan kayu, misalnya pengaturan api yang tidak mudah dan penggunaannya yang tidak praktis. Selain itu, asap hasil pembakaran kayu dan arang tersebut kurang disukai oleh pengguna.

Dalam pengembangannya, bahan bakar arang dimodifikasi menjadi briket dengan berbagai tujuan, misalnya meningkatkan efisiensi pembakaran maupun untuk menciptakan bahan bakar yang lebih ekonomis. Dalam pembuatannya, diperlukan komposisi campuran briket yang tepat agar tercipta briket dengan karakteristik yang diinginkan. Dalam penelitian ini, komposisi campuran briket terdiri dari bahan baku utama berupa arang kayu dan perekat

alternatif. Perekat yang digunakan berasal dari lumpur lapindo. Lumpur lapindo memiliki sifat sebagai perekat yang dapat meningkatkan nilai kalor briket arang. Namun demikian, potensi penggunaan lumpur Lapindo dalam briket arang ini perlu dikaji lebih lanjut, di antaranya adalah komposisi optimal dan karakteristik lumpur lapindo pada briket.

Arang

Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuhan. Arang umumnya didapatkan dengan memanaskan kayu, gula, tulang, dan benda lain. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan meyerupai batu bara ini terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya.

Syarat-syarat arang kayu yang bagus untuk digunakan adalah mempunyai kandungan arang (*fix carbon*) di atas 75 %, cukup keras ditandai dengan tidak mudah patah dan hancur, kandungan abunya sampai 5%, kandungan airnya tidak lebih dari 8%, kandungan gas terbangnya tidak lebih dari 15%, tidak tercemari oleh unsur-unsur yang membahayakan atau kotoran yang lainnya dan arang benar-benar matang (bukan setengah arang). Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan arang adalah bahan baku, alat, tempat, dan teknik yang digunakan.

Jenis arang yang terakhir dan sudah banyak terdapat dimasyarakat adalah Briket Arang. Briket arang adalah arang yang terbuat dari arang jenis lain yang dihaluskan terlebih dahulu kemudian dicetak sesuai kebutuhan dengan campuran tepung kanji. Tujuan pembuatan briket arang adalah untuk menambah jangka waktu bakar dan untuk menghemat biaya.



Gambar 1. Briket arang kayu

Arang yang sering dijadikan briket arang diantaranya adalah arang sekam, arang serbuk gergaji, dan arang serasah. Arang- arang tersebut terlalu kecil untuk digunakan langsung dan akan cepat habis. Sehingga akan lebih awet jika diubah menjadi briket arang. Untuk arang tempurung kelapa dapat dijadikan briket arang, tetapi hanya tempurung yang sudah remuk. Sedangkan tempurung yang masih utuh tidak perlu dijadikan briket arang.

Lumpur Lapindo

Berdasarkan pengujian toksikologis di 3 laboratorium terakreditasi (Sucofindo, Corelab dan Bogorlab) diperoleh kesimpulan ternyata lumpur Sidoarjo tidak termasuk limbah B3 baik untuk bahan anorganik seperti Arsen, Barium, Boron, Timbal, Raksa, Sianida Bebas dan sebagainya, maupun untuk untuk bahan organik seperti Trichlorophenol, Chlordane, Chlorobenzene, Chloroform dan sebagainya. Hasil pengujian menunjukkan semua parameter bahan kimia itu berada di bawah baku mutu.

Hasil pengujian LC50 terhadap larva udang windu (*Penaeus monodon*) maupun organisme akuatik lainnya (*Daphnia carinata*) menunjukkan bahwa lumpur tersebut tidak berbahaya dan tidak beracun bagi biota akuatik. LC50 adalah pengujian konsentrasi bahan pencemar yang dapat menyebabkan 50 persen hewan uji mati. Hasil pengujian membuktikan lumpur tersebut memiliki nilai LC50 antara 56.623,93 sampai 70.631,75 ppm *Suspended Particulate Phase* (SPP) terhadap larva udang windu dan di atas 1.000.000 ppm SPP terhadap *Daphnia carinata*. Sementara berdasarkan standar EDP-BPPKA Pertamina, lumpur dikatakan beracun bila nilai LC50-nya sama atau kurang dari 30.000 mg/L SPP.

Di beberapa negara, pengujian semacam ini memang diperlukan untuk membuang lumpur bekas pengeboran (*used drilling mud*) ke dalam laut. Jika nilai LC50 lebih besar dari 30.000 Mg/L SPP, lumpur dapat dibuang ke perairan.

Namun Simpulan dari Wahana Lingkungan Hidup menunjukkan hasil berbeda, dari hasil penelitian Walhi dinyatakan bahwa secara umum pada area luberan lumpur dan sungai Porong telah tercemar oleh logam kadmium (Cd) dan timbal (Pb) yang cukup berbahaya bagi manusia apalagi kadarnya jauh di atas ambang batas. Dan perlu sangat diwaspadai bahwa ternyata lumpur Lapindo dan sedimen Sungai Porong kadar timbal-nya sangat besar yaitu mencapai 146 kali dari ambang batas yang telah ditentukan. (lihat: Logam Berat dan PAH Mengancam Korban Lapindo).



Gambar 2. Kondisi Bencana Lumpur Lapindo

Berdasarkan PP No 41 tahun 1999 dijelaskan bahwa ambang batas PAH yang diizinkan dalam lingkungan adalah 230 µg/m³ atau setara dengan 0,23 µg/m³ atau setara dengan 0,23 µg/kg. Maka dari hasil analisis di atas diketahui bahwa seluruh titik pengambilan sampel lumpur Lapindo mengandung kadar Chrysene di atas ambang batas. Sedangkan untuk Benz(a)anthracene hanya terdeteksi di tiga titik yaitu titik 7,15 dan 20, yang kesemuanya di atas ambang batas.

Metodologi

Analisa Bahan Dasar

Dalam penelitian ini, sampel yang dibuat terdiri dari dua bahan baku utama, yakni serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo. Arang kayu dihaluskan dengan menggunakan penghalus hingga menjadi serbuk kemudian dilakukan proses sieving (pengayakan) dengan ukuran 100 mesh.

Proses selanjutnya adalah menghilangkan kadar air pada lumpur lapindo dengan proses pengeringan. Pengeringan ini menggunakan lampu berdaya 100 watt selama 1 hari dengan kapasitas volume lumpur Lapindo yang dikeringkan sebanyak 1 liter. Penghilangan kadar air ini berfungsi untuk membuang zat-zat/gas-gas yang berbahaya dan beracun. Setelah kering, padatan lumpur Lapindo

dihaluskan dengan menggunakan penghalus hingga menjadi serbuk dan kemudian dilakukan proses sieving (pengayakan) dengan ukuran 100 mesh.

Kedua bahan yang akan digunakan selanjutnya dianalisa dengan menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence). Dari hasil pengujian XRF, dapat diketahui unsur-unsur penyusun dari serbuk arang kayu dan serbuk lumpur Lapindo. Sehingga, dapat dilakukan analisa mengenai unsur-unsur yang berperan dalam ikatan antara arang kayu dan lumpur Lapindo, serta unsur-unsur yang berperan dalam meningkatkan nilai kalori

Mixing

Proses mixing dilakukan untuk mencampur dua bahan yang berbeda agar menjadi lebih homogen. Dalam proses pencampuran bahan ini digunakan serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo sebagai bahan campuran. Perbandingan komposisi arang kayu dan lumpur lapindo yang digunakan adalah 600 cc : 120 cc, 600 cc : 150 cc, 600 cc : 200 cc, 600 cc : 250 cc, 600 cc : 300 cc, 600 cc : 350 cc, dan 600 cc : 400 cc.

Kompaksi

Proses pencetakan briket dilakukan dengan menggunakan alat pencetak (gambar 3). Alat ini berdiameter 3 cm dengan ketinggian 5 cm pada tabung cetakan briket. Alat kompaksi ini menggunakan ulir sehingga didapatkan distribusi tekanan yang merata pada briket, dengan kapasitas briket yang dihasilkan dalam sekali proses adalah 6 buah briket.

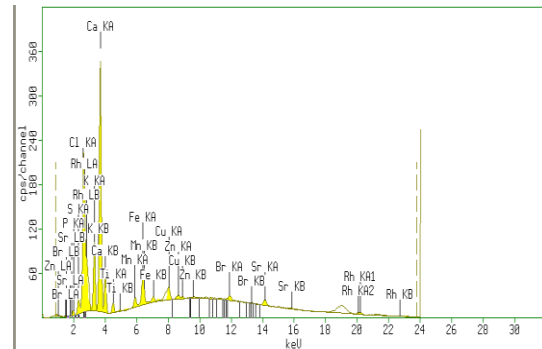


Gambar 3. Alat kompaksi

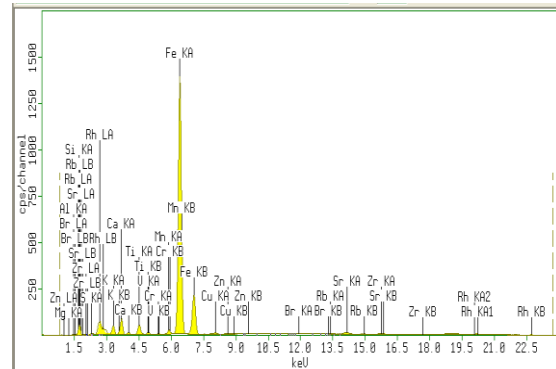
Hasil pencampuran dimasukkan ke dalam alat kompaksi kemudian ditekan dengan memutar ulir. Briket arang kayu yang telah dicetak, dikeringkan pada atmosfer. Setelah kering, dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui kualitas briket arang kayu yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut: uji kalori, uji pembakaran dan uji kadar air.

Hasil dan Pembahasan

Analisa bahan dasar lumpur lapindo dan arang kayu dilakukan dengan menggunakan analis XRF (X-ray Fluorescence). Analisis XRF dilakukan untuk mencari kandungan yang terdapat pada serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo. Komposisi serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Hasil uji XRF pada serbuk arang kayu



Gambar 5. Hasil uji XRF pada serbuk lumpur lapindo

Pada gambar 4, komposisi serbuk arang kayu menunjukkan unsur-unsur yang mendominasi adalah Ca sebesar 56,5%, Cl sebesar 19%, dan K sebesar 14%. Sedangkan pada gambar 5, komposisi serbuk lumpur lapindo menunjukkan adanya unsur utama yakni Fe sebesar 37,36 %, Si sebesar 37 %, dan Al 7% dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data yang di peroleh dengan menggunakan XRF ini dapat diketahui unsur apa yang dapat dengan mudah saling berikatan.

Tabel 1. Hasil XRF Lumpur Lapindo dan Arang Kayu

| No | Lumpur Lapindo | | Arang Kayu | |
|----|----------------|------------|------------|------------|
| | Unsur | Persen (%) | Unsur | Persen (%) |
| 1 | Fe | 37.36 | Ca | 56.5 |
| 2 | Si | 37 | Cl | 19.0 |
| 3 | Al | 7 | K | 14.0 |
| 4 | Ca | 6.67 | Fe | 2.6 |
| 5 | K | 5.03 | S | 2.1 |

Pada pencampuran bahan digunakan perbandingan komposisi antara arang kayu dan lumpur lapindo sebesar 600 cc : 120 cc, 600 cc : 150 cc, 600 cc : 200 cc, 600 cc : 250 cc, 600 cc : 300 cc, 600 cc : 350 cc, dan 600 cc : 400 cc. Pada komposisi tersebut dilakukan uji pembakaran, uji kalor dan uji kadar air. Pada pengujian pembakaran, dapat diketahui bahwa briket yang mudah dibakar diindikasikan memiliki nilai kalor yang relatif tinggi. Pada komposisi perbandingan antara arang dan lumpur lapindo 600 cc : 200 cc, 600 cc : 250 cc, 600 cc : 300 cc, 600 cc : 350 cc, dan 600 cc : 400 cc didapatkan hasil pembakaran yang kurang optimal bahkan beberapa briket tidak dapat dibakar. Sedangkan pada komposisi perbandingan antara arang dan lumpur lapindo sebesar 600 cc : 120 cc, 600 cc : 150 cc pembakaran dapat dilakukan dengan optimal sehingga kedua komposisi ini layak untuk lolos dalam tahap pengujian pembakaran dan selanjutnya dapat dilakukan pengujian nilai kalori dan kadar air.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian Briket

| No | Jenis Pengujian | Briket dengan Perekat Tepung Kanji | Briket dengan Perekat Lumpur Lapindo | |
|----|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| | | | 5:1 | 4:1 |
| 1. | Nilai Kalori | 5000 cal/gr | 5805 cal/gr | 5723 cal/gr |
| 2. | Kadar Air | < 8% | 7.1 % | 4.7 % |

Seperti pada tabel 2, menurut Badan Standarisasi Nasional Indonesia, briket arang kayu dengan perekat tepung kanji memiliki nilai kalori sebesar 5000cal/gr dengan kadar air maksimal 8%. Pada penelitian ini, digunakan pencampuran pertama dengan komposisi perbandingan antara serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo 600 cc: 120 cc, didapatkan nilai kalori sebesar 5805 cal/gr dengan kadar air sebesar 7,1 %. Namun sampel dengan komposisi ini memiliki kelemahan yaitu mudah retak, karena penggunaan campuran lumpur lapindo sebagai perekat terlalu sedikit.

Sedangkan pada pencampuran kedua dengan menggunakan komposisi perbandingan antara serbuk arang kayu dan serbuk lumpur lapindo 600 cc: 150 cc didapatkan nilai kalori sebesar 5723 cal/gr dengan kadar air sebesar 4,7%. Briket dengan komposisi ini tidak rapuh dan tidak mudah retak seperti pada pencampuran pertama.

Dari hasil yang telah diperoleh, dapat dibandingkan antara briket arang kayu dengan menggunakan perekat tepung kanji dan dengan perekat lumpur Lapindo dan didapatkan bahwa briket arang kayu dengan perekat lumpur Lapindo memiliki kalori lebih tinggi. Sedangkan pada briket arang kayu dengan perekat lumpur Lapindo yang memiliki komposisi 600cc:150cc tidak rapuh jika dibandingkan dengan komposisi 600cc:120cc.

Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa perbandingan komposisi optimum pada briket arang dengan perekat lumpur lapindo adalah 600 cc : 150 cc karena memiliki nilai kalori yang lebih tinggi daripada briket arang kayu dengan perekat tepung kanji yang bernilai kalori 5000 cal/gr dan memiliki sifat yang tidak rapuh.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan lumpur lapindo yang berperan dalam meningkatkan nilai kalori briket arang adalah Fe karena memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi sehingga dapat meningkatkan nilai kalori. Sedangkan komposisi optimum campuran lumpur lapindo dalam briket arang untuk mendapatkan briket yang memiliki nilai kalori tinggi adalah komposisi dengan perbandingan arang:lumpur = 600 cc : 150 cc atau 4:1

Daftar Pustaka

- Bayuseno, A.P., Sulistyono & Istadi., 2008, "Pengaruh Sifat Fisik dan Struktur Mineral Batu Bara Lokal Terhadap Sifat Pembakaran", *Laporan Penelitian Teknik Mesin dan Teknik Kimia*, UNDIP, Semarang.
- Masturin, A., 2002, "Sifat Fisik dan Kimia Briket Arang dari Campuran Arang Limbah Gergajian kayu", *Skripsi Teknologi Hasil Hutan*, IPB, Bogor.
- Novianti Diah., 2008, *Lumpur Sidoarjo Karakteristik dan Pemanfaatannya*, Unesa University Press, Surabaya
- Roy Beardmore, 2010, "The Theory of Adhesive Bonding", available at: http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Adhesives/Adhesive_Bond.html, diakses 3 Oktober 2011.
- Setyowati, E. W., 2007, "Penggunaan Campuran Lumpur Lapindo Terhadap Peningkatan Kualitas Genteng Keramik", *Laporan Penelitian Teknik Sipil*, UNBRAW, Malang.
- Tsoumis, G., 1991, "Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization", Van Nostrand Reinhard., New York.

Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Angin dengan Kapasitas 350 W untuk Rumah Tangga

(Idzani Muttaqin*), (Prawoto**), (Eka Maulana**), (Chandrasa Soekardi**)

*) Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan, Banjarmasin

***) Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: idezanimuttaqin@gmail.com, pra_woto@yahoo.com, ekamaulana@yahoo.com

ABSTRACT

This thesis aims to overcome the problems often occur in the area of South Kalimantan, which is a power outage due to a lack of electrical power is available compared to the number of users which includes the two provinces of South Kalimantan and Central Kalimantan. Where the available power of 260 MW while the power needed during peak load for the two provinces is about 295 MW. This thesis discusses the modeling of a hybrid power system consisting of wind energy, electrical energy surya. untuk produce 350W. for household needs.

Object of this study is to model the vertical axis wind turbine with a rotor type U savonius one level. Testing is done with Wind Speed used each of which is the lowest wind speed 2 m / s, the average wind speed of 4 m / s and extreme wind speed 6 m / s. Variations of testing is also done with a variation of two blades, three blades, and three blades. and variations in the position of the blade angle 900, angle corner 1000 and 1200. As for the solar cell testing was carried out by differentiating the number of days the sun shines and the angles at the optimum solar cell.

Based on the optimization results and the discussion that has been done then the power coefficient is affected by wind speed, so the greater the power of wind speeds then the coefficient will be smaller. And the lowest wind speed 0.7 m / s maximum torque of 1032 Nm obtained at an angle of 900, while the most extreme wind speed 6.2 m / s maximum torque of 80.957 Nm obtained at an angle of 900. Optimum torque (70.80 Nm) obtained on a combination of the number of blades 2, with 900 blade angle and the wind speed 2 m / s. The intensity of the sun on the surface of the inclined plane at optimum (106.25 JM/m²) obtained on a combination of the number of day 226, the optimal angle at 150

Key words: Solar, Wind, Savonius, Solar Cell, Electricity

PENDAHULUAN

Di Kalimantan Selatan sering sekali terjadi pemadaman listrik dikarenakan kurangnya daya listrik yang tersedia dibandingkan dengan jumlah pemakai yang meliputi 2 propinsi yaitu Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah. Dimana daya yang tersedia sebesar 260 MW sedangkan daya yang dibutuhkan pada saat beban puncak untuk 2 propinsi tersebut sekitar 295 MW.

Energi Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Menurut kajian tentang energi angin ialah angin yang dapat dimanfaatkan adalah dengan kecepatan 2,5 m/s sementara untuk wilayah Kalimantan yang rata-rata kecepatan antara 1,5 m/s s/d 5,5 m/s. dengan variasi bulanan kurang lebih 10%.

Berdasarkan data tersebut diatas untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dikembangkan suatu sistem pembangkit energi terbarukan, energi angin sangat kompeten untuk dijadikan tenaga alternatif selain sumber energi fosil. Namun sayang potensi ini nampaknya belum dilirik oleh pemerintah. Sedangkan energi surya juga sudah mulai dikembangkan serta banyak digunakan secara luas dalam aplikasinya secara kecil dan menjanjikan untuk pengembangan dan penelitian dalam skala

besar. Peralatan solar sel yang dibuat dengan harga yang murah.

Dengan demikian daerah-daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal.

Jenis turbin angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain *American Tipe Multi Blade, Cretan Sail dan Savonius*.

Hasil Penelitian ini akan berupa pengembangan sebuah pembangkit listrik tenaga *hybrid* antara tenaga angin dan surya diharapkan dengan memanfaatkan energi ini secara optimal maka semua permasalahan kelangkaan akan energi listrik didaerah ini dapat diatasi dan akan terhindar dari pemadaman listrik secara bergiliran, serta lebih hemat biaya. Karena biaya yang dikeluarkan relatif sedikit dibandingkan kita sepenuhnya menggunakan daya listrik dari pembangkit listrik milik negara.

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

Bagimanapun, istilah "tenaga surya" mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. dua tipe dasar tenaga matahari adalah

“sinar matahari” dan “*Photovoltaic*” (*photo*=cahaya, *voltaic*=tegangan) *Photovoltaic* tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, pertikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik.

Sistem *Photovoltaic* tidak membutuhkan cahaya matahari yang terang untuk beroperasi. Sistem ini juga membangkitkan listrik di saat hari mendung, dengan energi keluar yang sebanding ke berat jenis awan. Berdasarkan pantulan sinar matahari dari awan, hari-hari mendung dapat menghasilkan angka energi yang lebih tinggi dibandingkan saat langit biru sedang yang benar-benar cerah.

Sedangkan pembangkit listrik tenaga angin dan matahari merupakan teknologi *Hybrid* yang terbilang baru dan ramah lingkungan, pertama diperkenalkan oleh *Guiseppe* seorang doktor dari perusahaan listrik Italia tahun 1995. Dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga angin saja maupun tenaga matahari saja, teknologi *Hybrid* ini jelas lebih baik karena tak sepenuhnya bergantung pada matahari dan angin. Maka bila langit medung atau malam tiba dan matahari lenyap, pembangkit listrik akan digerakkan oleh kincir angin jadi listrik pun tetap mengalir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode atau pendekatan secara teoritis dan eksperimental. Kajian secara teoritis untuk mendapatkan parameter-parameter utama dalam sistim pembangkit gabungan tenaga angin dan surya dengan berbagai sumber literatur baik berupa buku teks maupun internet. Sedangkan pendekatan secara eksperimental dilakukan dengan mengoptimasi *prototype* dan menguji performance sistim pembangkit gabungan tersebut.

1. Energi Angin

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

Energi kinetik angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa m , kecepatan v , maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut:¹⁾

$$E = 0.5 m v^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : E = Energi (Joule)
 m = Massa Udara (kg)
 v = Kecepatan Angin (m/s)

Untuk keperluan praktis sering digunakan rumus aproksimasi yang

sederhana, yaitu hanya dengan memperhatikan besaran kecepatan angin dan luas penampang sudu, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :²⁾

$$P = k . A . v^3 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : P = Daya (W)
 k = Konstanta ($1,37 \cdot 10^{-5}$)
 A = Luas penampang (m^2)
 v = Kecepatan angin (m/s)

Efisiensi daya dari turbin adalah :³⁾

$$\epsilon_{turbin} = \frac{P_{turbin}}{0.5 \rho . A . v^3} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan untuk menentukan atau mendapatkan nilai *Tip Speed Ratio* dengan menggunakan persamaan.

$$B = \frac{\omega \cdot r}{v \cdot \lambda r^2} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : B = jumlah *Blade*
 λr = *Tip Speed Ratio*

Sedangkan:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : n = Kecepatan putaran generator (Rpm)

Sedangkan gaya *Lift*:

$$Lift (L) = 0.5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \cdot Cl \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : U^2 = Arah kecepatan angin
 ρ = Massa jenis udara kering suhu 30⁰
 Cl = Coefisien Lift

2. Energi Matahari

Bagimanapun, istilah “tenaga surya” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. dua tipe dasar tenaga matahari adalah “sinar matahari” dan “*Photovoltaic*” (*photo*=cahaya, *voltaic*=tegangan) *Photovoltaic* tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, pertikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik.

Sebelum mengetahui daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui energi yang diterima, dimana energi tersebut adalah perkalian intensitas radiasi yang diterima dengan luasan dengan persamaan :

$$E = Ir \times A \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : Ir = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas penampang (m^2)

Sedangkan untuk besarnya daya sesaat yaitu perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : P = Daya (Watt),

¹ Daryanto Y. 2007

² Daryanto Y. 2007

³ Daryanto Y. 2007

V = Beda potensial (Volt)
 I = Arus (Ampere)

Sedangkan untuk efisiensi solar cell dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:
 $\eta_{sc} = P/E \times 100\%$ (2.9)

3. Energi Hybrid

Sedangkan pembangkit listrik tenaga angin dan matahari merupakan teknologi *Hybrid* yang terbilang baru dan ramah lingkungan, pertama diperkenalkan oleh *Guiseppe* seorang doktor dari perusahaan listrik Italia tahun 1995. Dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga angin saja maupun tenaga matahari saja, teknologi *Hybrid* ini jelas lebih baik karena tak sepenuhnya bergantung pada matahari dan angin.

Maka bila langit medung atau malam tiba dan matahari lenyap, pembangkit listrik akan digerakkan oleh kincir angin jadi listrik pun tetap mengalir. Ketika tenaga angin mencukupi dan dapat memutar baling-baling turbin angin dengan kecepatan 4 m/s (18 km/jam), maka generator listrik akan berputar dengan kecepatan sekitar 600 rpm (dengan "*Tip Speed Ratio*" : $\lambda = 2$). Generator listrik (*Alternator*) akan menghasilkan tegangan listrik AC, karena tegangan listrik ini akan disuplai ke baterai maka terlebih dahulu diubah menjadi tegangan DC melalui peralatan *Rectifier*.

- Rancangan dimulai dengan diameter sudu D yang berkaitan dengan skala kuadrat kubik,
- Jumlah sudu B berpengaruh terhadap karakteristik.
- Perbandingan gaya angkat dan tahanan airfoil, Cl/Cd mempengaruhi Cp . Intensitas airfoil penting untuk kekuatan struktur. Dan untuk itu paling banyak digunakan NACA 63 dan 64.
- Perbandingan kecepatan ujung sudu λ dengan kecepatan angin berpengaruh terhadap koefisien prestasi sudu.
- Soliditas sudu S perbandingan luas sudu total frontal arah datangnya angin dan luas sapuan rotor yang menurun dibutuhkan untuk koefisien prestasi yang optimum.

Untuk mengoptimasi tenaga surya parameter-parameter yang perlu diperhatikan antara lain:

- Luas Panel Surya
- Sudut Jatuh Sinar
- Temperatur
- Tegangan

Sedangkan agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi perletakkan modul/deretan PV baik pada unit perumahan maupun bangunan komersial, maka ada 5 cara perletakkan deretan/modul PV:

1. *Fixed Array*
2. *Seasonally Adjusted Tilting*
3. *One axis tracking*
4. *Two axis tracking*
5. *Concentrator Arrays*

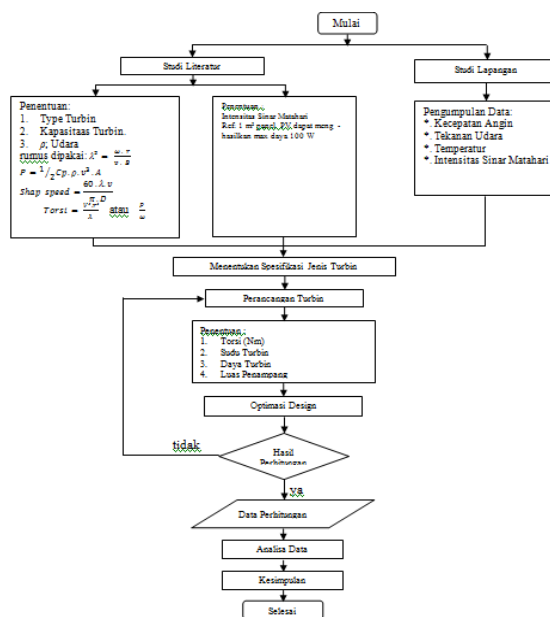
4. Kriteria Pemilihan Turbin

Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak (*soliditas* tinggi) akan mempunyai torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.

Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena *Rated Wind Speed*-nya tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkitan listrik) tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s.

Sedangkan untuk pemilihan turbin ini ada beberapa pertimbangan:

- a. Pertimbangan Diameter Rotor
- b. Pertimbangan Effisiensi Rotor
- c. Pertimbangan Aerodinamik



Untuk merancang sebuah turbin angin yaitu dengan optimasi aerodinamik yang menyertakan parameter desain⁴⁾ antara lain:

- Pertama kali harus diperhitungkan kecepatan angin rata-rata tahunan guna menentukan kecepatan angin operasional. Dan tenaga rates, kekuatan struktur diperhitungkan pada kecepatan maksimum/badai.

⁴ Harrison et. Al. 2000; Wilson et. Al. 1976

d. Pertimbangan Struktur

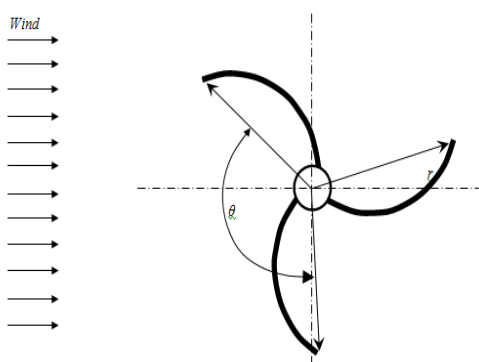
Dengan demikian daerah-daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal. Jenis turbin angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain *American Type Multi Blade*, *Cretan Sail* dan *Savonius*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

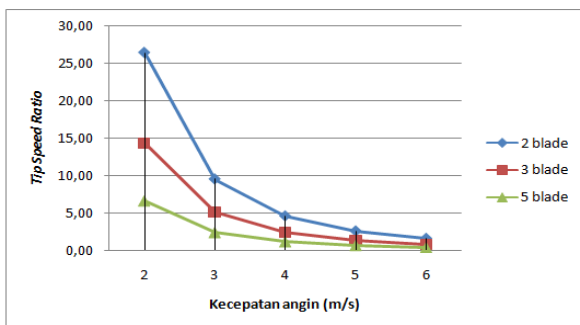
1. Aspek Teknis.

Dimana akan diketahui perencanaan turbin:

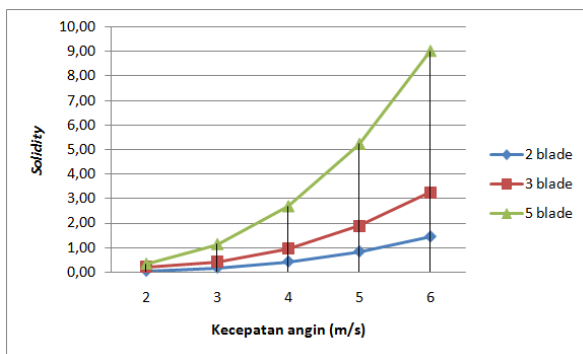
- Diameter turbin = 200 cm
- Diameter sudu = 10 cm
- Tinggi Sudu = 250 cm
- Offset = 125 cm



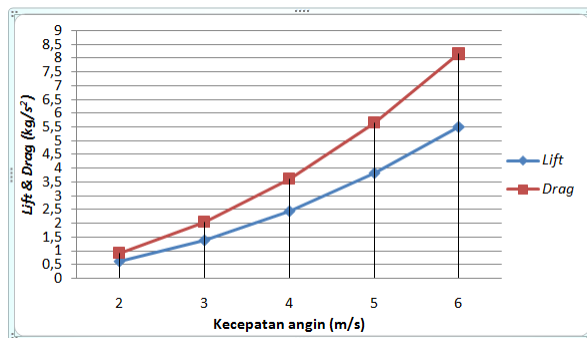
Gambar 4.1. sketsa alat



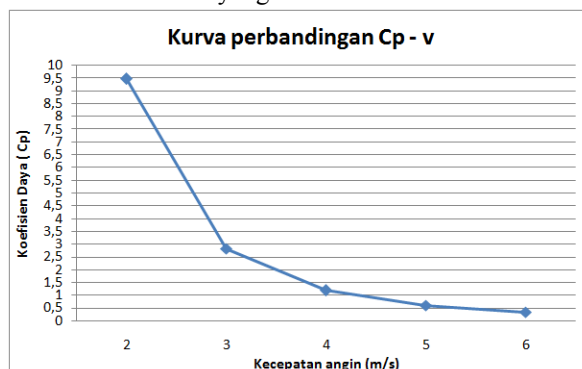
Grafik 4.1. TSR dengan variasi jumlah blade pada kecepatan angin berbeda



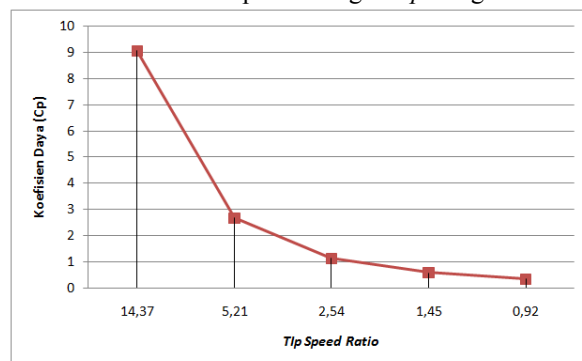
Grafik 4.2. Solidity dengan variasi jumlah blade pada kecepatan angin berbeda



Grafik 4.3. Lift dan Drag pada kecepatan angin yang berbeda



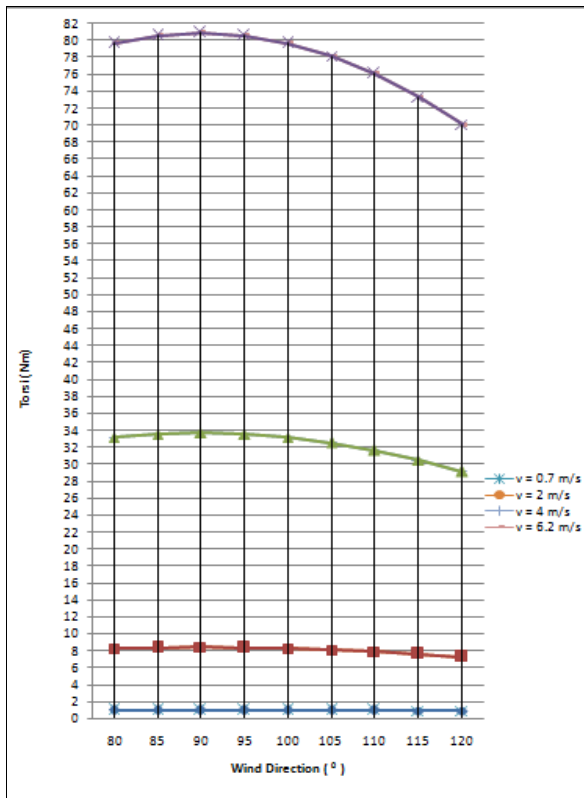
Grafik 4.4. Hasil perbandingan Cp dengan v



Grafik 4.5. Hasil perbandingan Cp dengan TSR

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan T vs variasi nilai v

| No | Sudut | Torsi | | | |
|----|-------|-------------|-----------|-----------|-------------|
| | | v = 0.7 m/s | v = 2 m/s | v = 4 m/s | v = 6.2 m/s |
| 1 | 80° | 1,016 Nm | 8,298 Nm | 33,192 Nm | 79,743 Nm |
| 2 | 85° | 1,028 Nm | 8,391 Nm | 33,562 Nm | 80,633 Nm |
| 3 | 90° | 1,032 Nm | 8,424 Nm | 33,697 Nm | 80,957 Nm |
| 4 | 95° | 1,028 Nm | 8,391 Nm | 33,562 Nm | 80,633 Nm |
| 5 | 100° | 1,016 Nm | 8,298 Nm | 33,192 Nm | 79,743 Nm |
| 6 | 105° | 0,997 Nm | 8,138 Nm | 32,551 Nm | 78,205 Nm |
| 7 | 110° | 0,970 Nm | 7,919 Nm | 31,675 Nm | 76,100 Nm |
| 8 | 115° | 0,935 Nm | 7,632 Nm | 30,530 Nm | 73,347 Nm |
| 9 | 120° | 0,894 Nm | 7,295 Nm | 29,182 Nm | 70,109 Nm |
| 10 | 125° | 0,845 Nm | 6,899 Nm | 27,598 Nm | 66,304 Nm |



Grafik 4.6. Hasil perbandingan Torsi dengan wind direction

Optimasi Energi Angin

Optimasi dari turbin angin dapat ditinjau dari beberapa faktor yang mempengaruhi dari turbin tersebut untuk mendapatkan torsi yang optimum.

1. Kecepatan angin
2. Arah kecepatan angin
3. Suhu udara
4. Putaran turbin
5. Sudut sudu
6. Jumlah sudu
7. Putaran generator
8. Kecepatan putar turbin
9. Jari-jari turbin angin.

Adapun dari faktor-faktor diatas saya mengambil 3 faktor yang dianggap paling dominan untuk diperhitungkan.

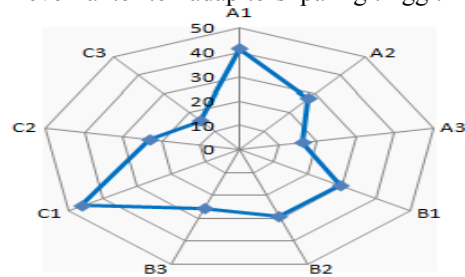
1. Sudut sudu
2. Jumlah sudu
3. Kecepatan angin

Tabel 4.4. Data hasil optimasi torsi turbin angin

| No | Sudu | Sudut sudu (θ^0) | Kecepatan angin (m/s) | SS (Rpm) | Ω (rad/s) | F (N) | T (Nm) |
|----|------|---------------------------|-----------------------|----------|------------------|-------|--------|
| 1 | 2 | 90 | 2 | 101.21 | 10.59 | 72,99 | 70.80 |
| 2 | 2 | 100 | 2 | 101.21 | 10.59 | 72,99 | 69.74 |
| 3 | 2 | 120 | 2 | 101.21 | 10.59 | 72,99 | 61.31 |
| 4 | 3 | 90 | 2 | 74.67 | 7.82 | 48,66 | 47.20 |
| 5 | 3 | 100 | 2 | 74.67 | 7.82 | 48,66 | 46.49 |
| 6 | 3 | 120 | 2 | 74.67 | 7.82 | 48,66 | 40.87 |
| 7 | 5 | 90 | 2 | 50.90 | 5.33 | 29,20 | 28.32 |
| 8 | 5 | 100 | 2 | 50.90 | 5.33 | 29,20 | 27.89 |
| 9 | 5 | 120 | 2 | 50.90 | 5.33 | 29,20 | 24.52 |

Dari tabel 4.4. dapat diketahui bahwa kombinasi level faktor untuk mendapatkan torsi pada sudu turbin angin diperoleh pada A1; B1; C1; yaitu pada jumlah sudu 2, dengan sudut sudu 90^0 pada

kecepatan angin 2 m/s. Gambar 4.5 menunjukkan respon level faktor terhadap torsi paling tinggi.



Gambar 4.2. Perata respon terhadap torsi

Optimasi Energi Surya

Optimasi dari energi surya dapat ditinjau dari beberapa variabel bebas yang mempengaruhi tersebut untuk mendapatkan intensitas yang optimum.

1. Jumlah hari
2. Sudut jam optimum
3. Sudut zenith
4. Kemiringan bidang permukaan
5. Kemiringan garis lintang

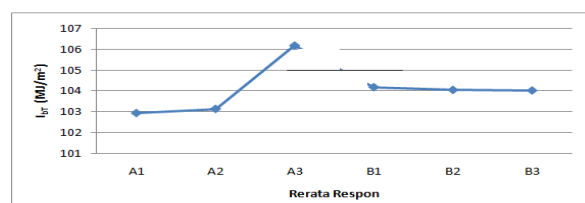
Adapun dari faktor-faktor diatas saya mengambil 2 faktor yang dianggap paling dominan untuk diperhitungkan.

1. Jumlah hari
2. Sudut jam optimum
3. Kemiringan bidang permukaan

Tabel 4.5. Data hasil optimasi energi surya

| No | n | ω | β | θ_z | θ_A | I_{bT} |
|----|-----|----------|---------|------------|------------|----------|
| 1 | 165 | 20 | 30 | 17.3 | 44.0 | 106.25 |
| 2 | 165 | 20 | 45 | 18.8 | 48.2 | 106.17 |
| 3 | 165 | 20 | 60 | 20.9 | 52.9 | 106.18 |
| 4 | 195 | 20 | 30 | 17.3 | 44.0 | 106.25 |
| 5 | 195 | 20 | 45 | 18.8 | 48.2 | 106.17 |
| 6 | 195 | 20 | 60 | 20.9 | 52.9 | 106.18 |
| 7 | 226 | 20 | 30 | 17.3 | 44.0 | 106.25 |
| 8 | 226 | 20 | 45 | 18.8 | 48.2 | 106.17 |
| 9 | 226 | 20 | 60 | 20.9 | 52.9 | 106.18 |

Dari tabel 4.5. dapat diketahui bahwa kombinasi level faktor untuk mendapatkan Intensitas Matahari pada permukaan bidang miring pada solar cell diperoleh pada A3; B1; yaitu pada hari 226, dengan sudut jam optimal 15^0 Gambar 4.7 menunjukkan respon level faktor terhadap Intensitas Matahari pada permukaan bidang miring yang paling tinggi.



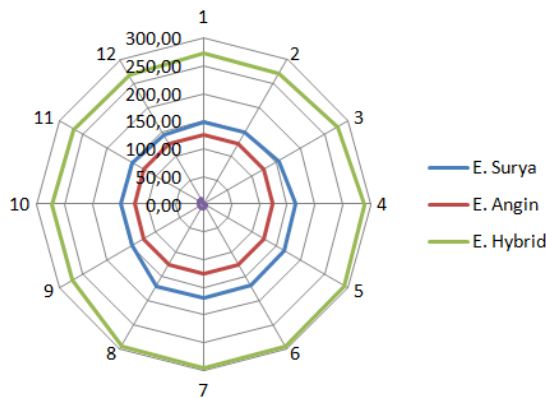
Gambar 4.4. Rerata respon terhadap Intensitas Matahari pada permukaan miring

Analisa sistim energi hybrid

Analisa sistim hybrid ini yaitu penggunaan dua energi dimana salah satu energi yang digunakan antara angin dan surya yang paling besar pada saat itu yang akan menghasilkan energi untuk menyuplai ke baterai dan diteruskan ke inverter.

Tabel 4.6. Daya total untuk angin dan surya tahunan

| Bulan | P Turbin (W) | P Solar cell (W) | P Total (W) |
|-----------|----------------|------------------|-------------|
| Januari | 125,00 | 148,18 | 273,18 |
| Pebruari | 125,00 | 148,56 | 273,56 |
| Maret | 125,00 | 155,43 | 280,43 |
| April | 125,00 | 165,35 | 290,35 |
| Mei | 125,00 | 166,95 | 291,95 |
| Juni | 125,00 | 169,70 | 294,70 |
| Juli | 125,00 | 169,05 | 294,05 |
| Agustus | 125,00 | 170,21 | 295,21 |
| September | 125,00 | 147,77 | 272,77 |
| Oktober | 125,00 | 149,25 | 274,25 |
| Nopember | 125,00 | 147,19 | 272,19 |
| Desember | 125,00 | 144,34 | 269,34 |



Gambar 4.3. jaring laba-laba daya energy surya dan angin 1 tahun

1. Aspek Ekonomi

Pertimbangan aspek ekonomi pembangkit umumnya meliputi 3 lingkup besar, yaitu: (i) biaya investasi awal; (ii) biaya operasional; (iii) biaya perawatan pembangkit. Sifat ekonomis sebuah sistem pembangkit listrik dapat dilihat dari harga jual listrik untuk setiap kWh (kilo watt kali jam). Salah satu faktor yang mempengaruhi bahwa pembangkit listrik-ekonomis (harga jual listrik serendah mungkin untuk setiap kWh) adalah biaya bahan bakar. Secara umum, biaya bahan bakar untuk pembangkit berbahan bakar fosil adalah 80 % dari biaya pembangkitan dan untuk pembangkit nuklir adalah 50 % dari biaya pembangkitan.

Pembangkit Listrik Kebutuhan Rumah Tangga merupakan sebuah alternatif yang murah dan hemat untuk digunakan sebagai sumber listrik alternatif selain dari sumber energi listrik PLN Dengan menggunakan perangkat ini, kita sudah memiliki sumber energi sendiri tanpa ketergantungan dengan pihak lain, hemat BBM, dan ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil optimasi dan pembahasan yang telah dilakukan adalah:

1. Koefisien daya dipengaruhi oleh kecepatan angin, sehingga dapat dilihat makin besar kecepatan angin maka koefisien daya akan semakin kecil.
2. Pada kecepatan angin terendah 0,7 m/s torsi maksimal yang didapat 1.032 Nm pada sudut 90^0 , sedangkan pada kecepatan angin paling ekstrim 6.2 m/s torsi maksimal yang didapat 80,957 Nm pada sudut 90^0 .
3. Torsi optimum (70.80 Nm) diperoleh pada kombinasi jumlah sudu 2, dengan sudut sudu 90^0 dan pada kecepatan angin 2 m/s.
4. Intensitas Matahari pada permukaan bidang miring paling optimum (106.25 JM/m^2) diperoleh pada kombinasi jumlah hari 226, dengan sudut jam optimal 15^0

DAFTAR PUSTAKA

- BPPT, *Energy Demand Forecast for the Period 2002 up to 2025 Using MAED Model.* Jakarta
- Anonim.2007. *Pemanfaatan tenaga surya.* Jakarta: Depdiknas
- Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.* Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- Soeripno MS, Malik Ibrahim. 2007. "Analisa potensi energi angin untuk daerah Lebak Banten" Maret 2006 – Maret 2007.
- Sulistyio Atmadi, ahmad Jamaluddin Fitroh, 2008. "Pengembangan metode penentuan parameter awal rotor Turbin angin sumbu vertikal tipe *Savonius*"
- Rudi Hermawan. 2010. "Pembangkit Listrik Hybrid tenaga angin dan Surya". Tesis Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila Jakarta.
- Wiranto Arismunandar, Ted J. Jansen, 1995, *Teknologi Rekayasa Surya*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Ravindran, K. M. Ragsdell, G. V. Reklaitis, 2006, *Engineering Optimization: Methods and Applications, Second Edition.* John Wiley & Sons, Inc.
- Foster, B., 2000, *Fisika*, Erlangga, Jakarta
- Goenawan. J., 2001, *Fisika*, PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta
- Kadir, A., 1995, *ENERGI*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Muhaimin, 2001, *Teknologi Pencahayaan*, PT. Refika Aditama, Bandung
- Martina.G., 1982, *Solar cells*, University of New Shouth Wales Australia.
- Akhadi, M., 2000, *Listrik Murah atau Udara Bersih*, Elektro Indonesia, Nomor

34, Tahun VI, November, [Online, diakses :
23-03-2002]
URL :[http:// www. elektro indonesia.com/ elektro/
ener34.html](http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener34.html)

Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Purwarupa Turbin Aliran Aksial Untuk Pembangkit Energi Listrik Mikro Hidro Head Rendah di Aceh

Irwansyah¹, Hamdani¹, Razali², Pribadyo², Anwar³

- 1) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh
2) Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh
3) Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Aceh Utara, Aceh

e-mail : wansyah_ir@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan turbin air aliran aksial pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) head rendah di Aceh, masih sangat terbatas. Umumnya, PLTMH yang dibangun oleh lembaga pemerintah atau non-pemerintah menggunakan turbin air jenis impuls aliran melintang (crossflow). Penggunaan turbin jenis ini menghendaki tinggi jatuh air yang tinggi (head tinggi), akan tetapi tidak semua daerah di Aceh yang belum terjangkau layanan listrik memiliki sungai dengan head tinggi. Disamping itu turbin aliran melintang tidak dapat berputar cepat pada head rendah. Menyikapi hal tersebut, turbin aliran aksial diajukan sebagai turbin alternatif yang digunakan untuk PLTMH head rendah. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan turbin aliran aksial pada head rendah, ditemukan bahwa masih terdapat kekurangan pada efisiensi unjuk kerja turbin. Hal ini disebabkan oleh salah satunya adalah belum optimal rancangan sudu turbin aliran aksial. Pada penelitian ini, peningkatan efisiensi turbin aliran aksial dilakukan dengan merancang beberapa variasi turbin aliran aksial, membuat purwarupa dan melakukan pengujian skala laboratorium. Parameter perancangan sudu turbin yang dievaluasi adalah sudut sudu turbin. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh daya luaran turbin yang dihasilkan 3 kW dengan besar efisiensi 54 %.

Kata Kunci: PLTMH head rendah; turbin aliran aksial; sudu turbin; daya, efisiensi turbin

Daftar Simbol

| | |
|----------|------------------------------------|
| H | Head turbin (m) |
| N | Kecepatan putaran turbin (rev/min) |
| Ns | Kecepatan spesifik |
| P | Daya |
| Pr | Daya rasio (site/reference) |
| Q | Laju alir (m^3/det) |
| S | Luas penampang tubular |
| ρ | Densitas fluida |
| g | Percepatan gravitasi (m/det^2) |
| v | Vektor absolut |
| u | Kecepatan sudu relatif |
| ω | Kecepatan putar (rad/det) |
| α | Sudut sudu turbin |
| r_e | Radius ujung sudu |
| r_i | Radius pangkal hub sudu |

Sebahagian besar pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) yang beroperasi di kawasan propinsi Aceh menggunakan turbin impuls aliran jenis aliran melintang (crossflow) sebagai alat pengkonversi energi. Pemilihan untuk menggunakan turbin jenis ini mensyaratkan bahwa pembangunan PLTMH hendaknya berada pada lokasi yang memiliki tinggi jatuh air yang tinggi (head tinggi).

Namun demikian, tidak semua daerah terpencil di Aceh yang belum terjangkau aliran listrik memiliki sumber air dengan tinggi jatuhnya yang tinggi (Hamdani, et al. 2009). Disamping itu, beberapa sumber air di daerah Aceh seperti saluran-saluran irigasi tradisional dan sungai dengan head rendah belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber penggerak pembangkit listrik tenaga hidro.

Dengan demikian perlu kiranya dipertimbangkan pemilihan dan penggunaan jenis turbin yang dapat bekerja pada daerah aliran air dengan titik jatuh air rendah (head rendah). Menurut Ramos et al, [2009], hingga saat ini masih sangat sedikit kajian-kajian yang dilakukan mengenai kerja turbin aksial atau propeller sebagai turbin pembangkit listrik tenaga mikro. Khususnya, untuk menyelesaikan permasalahan rendahnya daya luaran yang diakibatkan oleh ketidaksesuaian perancangan, efisiensi, ukuran dan ketidakstabilan operasi.

Hamdani et al, [2009], melakukan penelitian mengenai pengembangan turbin aliran aksial untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) head rendah. Terangkum dari hasil penelitian menyatakan bahwa potensi sumber energi air yang terdapat di Aceh cukup layak dimanfaatkan untuk pengembangan PLTMH dengan menggunakan turbin head rendah (2–5 m). Berdasarkan penelitian

tersebut ditemukan bahwa efisiensi turbin hasil rancangan jauh lebih kecil dibandingkan efisiensi yang diasumsi pada perancangan ukuran utama turbin. Sehingga perlu dilakukan kajian lanjut terutama mengenai geometri bentuk sudu turbin yang belum optimal dan realibilitas unjuk kerja elemen-elemen mesin menerima tekanan fluida selama turbin beroperasi. Perbaikan rancangan turbin dilakukan dengan menelaah literatur mengenai turbin tenaga air yang sesuai untuk head rendah, memperkecil dan mengoptimalkan geometri sudu turbin. Perilaku turbin aliran aksial sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida dan konfigurasi sudu-sudu turbin, terutama pada aliran masuk dan keluar serta bentuk turbin itu sendiri.

Berdasarkan hal tersebut, untuk meningkatkan daya luaran turbin yang dipengaruhi oleh faktor perancangan, efisiensi, ukuran dan ketidakstabilan operasi turbin. Maka, penelitian ini dilakukan dengan melakukan perancangan sudu turbin aliran aksial menggunakan program aplikasi komputer CAD/CAE dan pengujian prestasi turbin. Sehingga diperoleh sebuah purwarupa turbin aliran aksial dengan efisiensi yang baik berkisar 75% sampai dengan 80%. Sejalan dengan tujuan penelitian ini adalah untuk mencapai optimalisasi efisiensi turbin aliran aksial pada PLTMH head rendah.

Konsep Desain

Teori dasar perancangan turbin hidrohead rendah memiliki permasalahan yang berbeda dengan turbin hidrohead tinggi. Permasalahan utama yang ditemukan pada turbinhead rendah adalah kecepatan turbin yang rendah. Hal ini akan berdampak pada kemampuan turbin menggerakkan generator dengan kecepatan putar yang cukup sehingga mampu menghasilkan listrik berfrekuensi standar. Pengurangan head biasanya diikuti dengan menurunnya kecepatan fluida, maka kecepatan benda bergerak dalam hal ini generator juga akan ikut turun. Demikian juga halnya bila head berkurang, laju alir fluida akan menurun. Untuk mendapatkan daya yang sama dengan turbin ber-head tinggi, maka laju alir fluida harus ditingkatkan. Sebagai akibatnya diameter turbin juga akan ikut bertambah besar dan berdampak pada kecepatan putar turbin yang akan menurun.

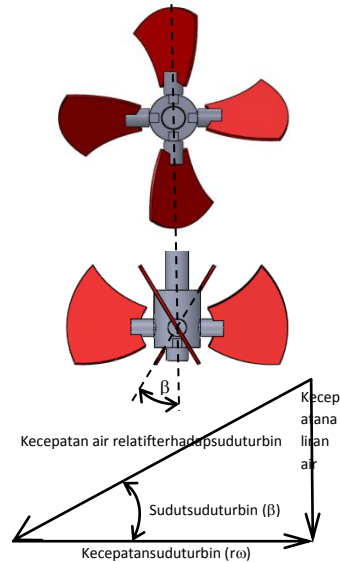
Jenis Turbin

Penentuan jenis turbin pada umumnya didasarkan pada kondisi pengoperasiannya. Namun demikian, jenis turbin jugadapat dikelompokkan menurut kecepatan spesifiknya. Kecepatan spesifik turbin hidro dapat ditentukan sesuai persamaan 1.

$$N_s = \frac{N\sqrt{P_r}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots 1$$

Diantara beberapa jenis turbin yang memiliki kecepatan spesifik yang besar adalah turbin aliran

aksial atau turbin propeller. Hal ini dikarenakan, sudut urbin jenis ini bergerak memotong arah aliran fluida. Dimana, kecepatan sudut turbin lebih besar dibandingkan kecepatan aliran fluida, sebagaimana ditunjukkan pada diagram kecepatan untuk turbin aliranaksial berikut:



Gambar1. Diagram kecepatan untuk turbin aliran aksial

Turbin aliran aksial pada umumnya memiliki geometri sudu dengan kurva yang rumit. Sehingga, turbin jenis ini membutuhkan biaya tinggi pada proses perancangan dan pembuatan. Turbin aliran aksial lebih sesuai untuk digunakan pada system pembangkit yang besar. Beberapa penelitian sebelumnya, kebanyakan mengacu pada bagaimana menyederhanakan perancangan turbin aliran aksial dan penyesuaian system turbin untuk dipergunakan pada system pembangkit berskala kecil. Namun demikian, sangat sedikit informasi mengenai hasil penelitian yang memberikan gambaran mengenai pengaruh perancangan geometri sudu terhadap prestasi kerja turbin.

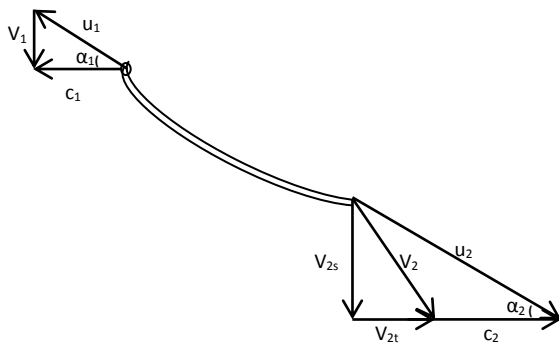
Desain Turbin

Perancangan turbin yang optimal dilakukan untuk mendapatkan hasil desain turbin dengan tingkat efisiensi (Best Efficiency Point/BEP) dan daya (Best Power Point/BEP).Salah satu variabel yang patut dipertimbangkan untuk mendapatkan efisiensi yang baik yaitu modifikasi desain sudu turbin. Pada dasarnya sudu turbin, hub dan poros merupakan satu kesatuan dari bagian yang berputar atau dikenal dengan runner turbin. Pencapaian efisiensi turbin melalui modifikasi geometri sudu turbin dilakukan dengan tetap mengacu kepada konstruksi sudu turbin yang sederhana. Sebagaimana diketahui, bentuk sudu turbin sangat kompleks sehingga mempengaruhi proses pembuatan.

Perancangan turbin dengan bentuk sudu sederhana menjadi perhatian. Penentuan efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\eta = \frac{P}{\rho g H Q} \dots\dots\dots 2$$

Ramos et al, [2012], menyatakan bahwa modifikasi desain turbin untuk mengoptimalkan efisiensi turbin mengacu pada penentuan orientasi sudu turbin terbaik. Proses identifikasi orientasi sudu turbin dapat dikalkulasikan baik menggunakan simulasi komputasi maupun eksperimental. Gambar2, menunjukkan vektor-vektor yang bekerja pada sudu turbin.



Gambar 2. Vektor kecepatan sudu turbin propeller [Ramos et al, 2012]

Kecepatan putar sudu dapat ditentukan berdasarkan persamaan 3.

$$c_1 = c_2 = \omega \times r \dots\dots\dots 3$$

Sedangkan kecepatan absolut turbin ditentukan oleh laju alir fluida yang melalui sudu-sudu turbin, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 4.

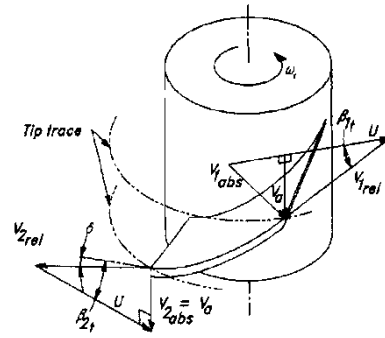
$$v_1 = v_{2s} = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi(r_e^2 - r_i^2)} \dots\dots\dots 4$$

Sudut sudu turbin α_1 dan α_2 pada masukan (inlet) dan luaran (outlet) aliran fluida ditentukan mengikuti persamaan berikut,

$$tg \alpha_1 = \frac{v_1}{c_1} = \frac{Q}{S} \times \frac{1}{\omega \times r} \dots\dots\dots 5$$

$$tg \alpha_2 = \frac{v_{2s}}{c_2 + v_{2t}} = \frac{v_1}{\omega \times r + v_{2t}} = \frac{Q}{S} \left(\frac{1}{\omega \times r + v_{2t}} \right) \dots\dots\dots 6$$

Perubahan sudut sudu turbin pada masukan menuju luaran mengakibatkan aliran fluida menumbuk sudu turbin menghasilkan putaran dan selanjutnya bergerak keluar turbin, seperti terlihat pada diagram kecepatan runner turbin [Alexander et al, 2009].



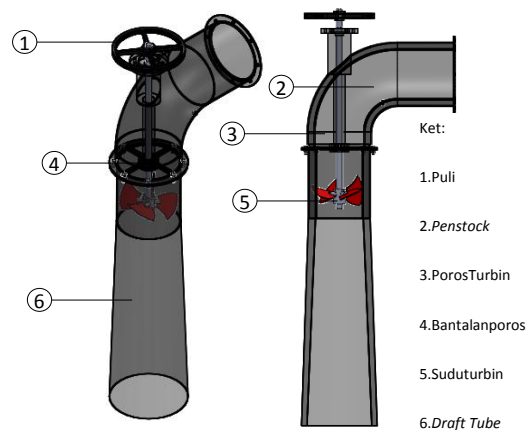
Gambar 3. Diagram kecepatan runner turbin [Alexander et al, 2009]

Daya mekanik turbin dihitung dengan mempertimbangkan torsi, kecepatan putar sudu, densitas massa fluida, debit dan konstanta free-vortex.

$$P_{mek} = M \times \omega = \rho \times Q \times k \times \omega \dots\dots\dots 7$$

Manufaktur Turbin

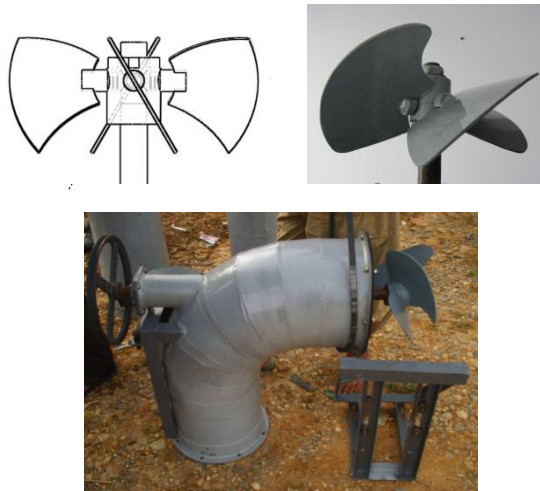
Penerapan program aplikasi komputer CAD/CAE pada proses perancangan konstruksi turbin aliran aksial membantu dalam mewujudkan bentuk tiga dimensi turbin aliran aksial, sebagaimana terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil rancangan turbin aliran aksial

Sudu turbin aliran aksial biasanya dibuat menggunakan teknologi pengecoran. Akan tetapi penerapan teknik ini menghendaki biaya produksi yang tinggi. Sehingga harga sudu turbin menjadi mahal. Terkecuali bila proses pembuatannya dilakukan dalam jumlah yang massal. Disamping itu karena turbin aliran aksial ini diperuntukkan sebagai pengkonversi energy pada pembangkit mikrohidro yang biasanya diaplikasikan didaerah pedesaan. Maka, konstruksi sudu turbin juga harus dapat dikerjakan oleh sumber daya local dan memanfaatkan bahan baku serta teknologi yang tersedia. Berikut ini gambar konstruksi turbin dan sudu turbin aliran aksial yang telah dikerjakan oleh

perbengkelan sederhana.

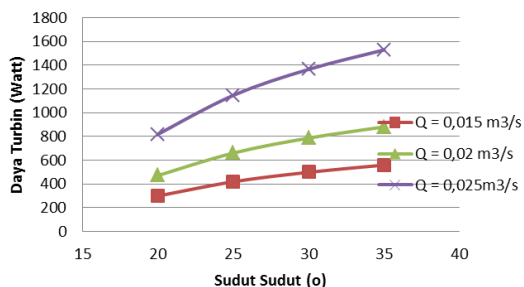


Gambar 5. Hasil pembuatan konstruksi turbin aliran aksial

Purwarupa turbin aliran aksial dirancang bangun dengan diameter 260 mm serta diperuntukkan bekerja pada *head* efektif 7 m dan debit desain 0,025 m³/s.

Pengujian Karakteristik Turbin

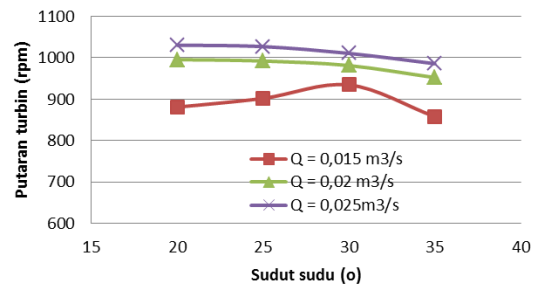
Pengujian karakteristik purwarupa turbin aliran aksial dilakukan pada fasilitas uji di desa Darul Makmur, Kota Subulussalam, Aceh. Diawali dengan pengukuran debit air menggunakan alat *Propeller devices* current meters. Hasil pengukuran diperoleh debit air sementara sebesar 0,05 m³/s dengan debit desain Q_d sebesar 0,025 m³/s. Pada simulasi, debit yang digunakan divariasikan pada 0,015 m³/s, 0,02 m³/s dan 0,025 m³/s. Besarnya daya turbin yang diperoleh berdasarkan perubahan sudut sudu dan perubahan debit air diperlihatkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh sudut sudu terhadap daya dengan debit berbeda

Pada gambar 6 terlihat bahwa daya turbin akan meningkat berbanding lurus dengan membesarnya sudut sudu turbin, sedangkan pada kapasitas yang besar terlihat kenaikan daya turbin yang cenderung linier. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit akan mampu meningkatkan daya turbin.

Putaran turbin yang diperoleh berdasarkan perubahan sudut sudu dan debit air diperlihatkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh sudut sudu terhadap putaran turbin dengan debit berbeda

Putaran turbin akan meningkat seiring perubahan sudut sudu turbin dari 20° menjadi 25°, dan akan menurun bila sudut sudu diperbesar menjadi 30° dan 35°. Hal ini menunjukkan bahwa adanya titik optimal sudut sudu untuk memperoleh putaran turbin yang mampu menghasilkan putaran generator.

Efisiensi turbin dapat ditentukan dengan membandingkan daya air yang tersedia dengan daya turbin hasil pengukuran. Maka, efisiensi turbin $\geq 50\%$ diperoleh pada perubahan sudut sudu 30° untuk berbagai perubahan debit. Efisiensi terbaik dihasilkan pada perubahan sudut sudu turbin dengan debit terbesar yaitu mencapai 80%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya titik optimal sudut sudu untuk memperoleh efisiensi turbin yang baik.

Kesimpulan

Mengacu pada hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dikembangkan satu jenis turbin aksial head rendah untuk digunakan pada Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro. Berdasarkan hasil rancangan dan simulasi diperoleh bahwa turbin aliran aksial dengan sudut sudu 30° memberikan kecepatan, daya dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan sudut sudu turbin lainnya.

Daftar Pustaka

- Hamdani, Mahidin, Irwansyah, 2009. "Pengembangan turbin aliran aksial untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) Head rendah di desa Ramiti Sungai Mas Aceh Barat". Laporan penelitian Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional. Lembaga Penelitian Universitas Syiah Kuala.
- Helena M. Ramos, Mariana Simao and Kayolan N. Kenov., 2012, "Low-Head Energy Conversion: A Conceptual Design and Laboratory Investigation of A Microtubular Hydro Propeller. ISRN Mechanical Engineering.
- Helena M. Ramos, Borga, A., Simao, M. 2009. "New design solutions for low-power energy production in water pipe systems". Water Science and Engineering, 2 (4):69-84.

K.V. Alexander, E.P. Gidden, A.M. Fuller., 2009,
“Axial-Flow Turbines for Low Head Microhydro
Systems. Renewable Energy Journal, Vol. 34, 35-47.

Increasing Life-Time and Maintainability of Chain at Two Wheeled Vehicle with Using Chain Tighter

Ir. Isman Harianda M.T.

Politeknik Negeri Medan, Jln. Almamater No. 1, Kampus USU-Medan,

ABSTRACT

The chain damage to due to wear and the length increased very common, also the chain is not maintained his life-time are getting shorter. Chain damage can be prevented by regularly maintained, which is the correct installation and lubrication. Although it has been maintained, installed and well lubricated, the chain is still short-lifetime because of the gap. Gap created due to the installation of the chain should not be too tight. To increase the life and maintainability of the chain is been created a tool that can increase the life of the chain, which is Chain Tighter where this tool can adjust the chain tension. This Chain Tighter will be tested on a chain and it can add life, proved wear chain was reduced by 0.03%, and decreased the length of the chain to 0.14%, and after the calculated statistically, test Paired Sample T-Test, the results are quite good and the chain can have long-life. And with Chain Tighter, the chain does not need to set any specific times to tighten, until the chain is broken (1% increase in length).

Keywords: Chains, Life-Time, Maintainability, Chain Tighter

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG MASALAH

Kendaraan roda dua “Sepeda Motor” adalah salah satu alternatif bepergian dari satu tempat ke tempat yang lain secara mudah, irit, cepat, luwes, efisien, dan lain sebagainya. Bagi masyarakat yang berpenghasilan rendah, sepeda motor menjadi harapan satu-satunya untuk dapat memiliki alat transportasi darat pribadi sesuai dengan kemampuan ekonominya. Beberapa keunggulan sepeda motor dari mobil adalah seperti hemat bensin / bahan bakar, lancar di saat macet, mudah dalam urusan parkir, biaya perawatan dan operasional yang rendah, harga beli yang murah dan terjangkau banyak kalangan masyarakat, dan lain -lain.

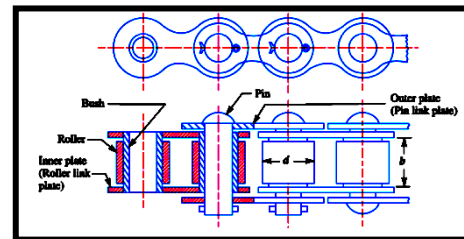
Di samping banyak kelebihan ada juga berbagai kekurangan atau kelemahan sepeda motor, yaitu seperti ban kempis jika terkena benda tajam, dapat tergelincir pada jalanan yang licin ataupun saat mengerem mendadak atau rantai tiba-tiba putus dapat menyebabkan sepeda motor berhenti, mungkin saja akan terjatuh dan menyebabkan terjadi kecelakaan. Ini sangat tidak diinginkan.

Yang paling tidak diinginkan adalah jika rantai benar-benar putus saat berkendara dan terputusnya disebabkan beberapa hal antara lain :

- Terjadinya keausan antara elemen-elemen dari rantai yang bergesekan satu sama lainnya, yaitu gesekan antara sproket dengan rol, sproket dengan plat dalam (*Inner Plate*), rol dengan bus, rol dengan plat dalam (*Inner Plate*), bus dengan pin, plat dalam dengan plat luar (*Outer Plate*), seperti gambar 1-1.
- Terjadi kelelahan antara pin dengan plat luar (*Outer Plate*) karena adanya gaya tarik yang

terjadi menyebabkan sambungan paksa (*skrink fit*) jadi longgar.

- Terjadinya pertambahan panjang pada plat baik plat luar (*Outer Plate*) maupun plat dalam (*Inner Plate*) akibat gaya tarik pada rantai oleh mesin pada saat transmisi daya dan putaran terjadi.



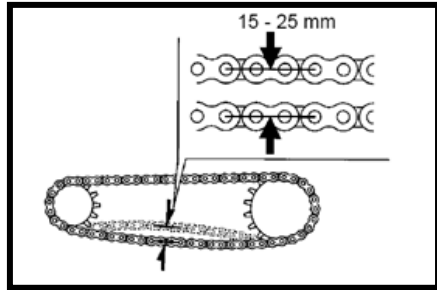
Gambar 1-1 : Bagian dari Rantai (RS. Khurmi, 2005)

Selain faktor-faktor diatas rantai putus dapat juga disebabkan kesalahan teknik saat pemasangan rantai antara lain :

- Tidak sesuai antara rantai dan sproket dimana saat pemasangan tidak lurus sisi kiri dan kanan ketika bersentuhan.
- Tidak sempurnanya pada sambungan rantai, pemasangan penjepit (klip) berlawanan arah putar, jadi bisa terjadi klip lepas saat rantai beroperasi.
- Pemasangan rantai terlalu kencang, akibatnya rantai mendapat gaya awal yang menyebabkan rantai cepat putus.
- Rantai tidak dilumasi, keausan akan cepat terjadi.
- Rantai cepat kotor, karena tidak adanya penutup rantai dan benda keras bisa masuk diantara rantai dan sproket.

Berdasarkan asumsi diatas penulis ingin meneliti pertambahan umur rantai, jika butir-butir diatas

sudah dilaksanakan dengan baik, tetapi rantai masih juga berumur pendek. Diduga hal ini disebabkan adanya gaya hantakan yang berulang-ulang karena rantai dipasang tidak kencang, sehingga menimbulkan adanya celah (*gap*) sekitar (15 – 25) mm, lihat gambar 1-2



Gambar 1-2 : Celah (*Gap*) Getaran Rantai (P. Sadagopan, 2007)

Dan akibat celah tersebut gesekan antara plat luar dan plat dalam semakin meningkat. Dalam penelitian ini akan ditambahkan “Alat Pengencang Rantai” agar kedua masalah tersebut diatas dapat dikurangi sehingga umur rantai menjadi lebih panjang.

Alat Pengencang Rantai ini akan dibuat seperti gambar 3-1 pada model penelitian.

TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian tentang rantai sepeda motor adalah

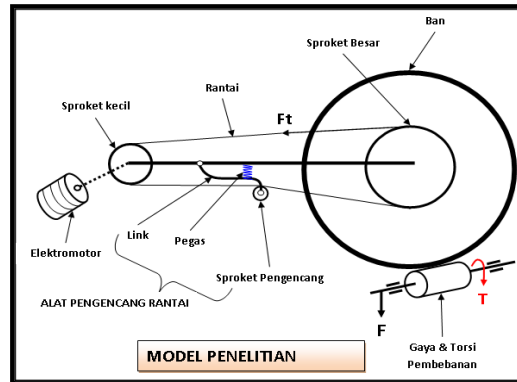
- Agar rantai yang digunakan dapat berumur panjang, yaitu rantai tidak cepat aus karena dengan adanya alat pengencang rantai, maka frekuensi gesekan berkurang.
- Pengguna dapat mengetahui cara memelihara rantai dengan benar sesuai dengan instruksi manual,
- Tidak terjadi kecelakaan yang tiba-tiba saat berkendara misalnya putus rantai secara mendadak,
- Dapat memasang rantai dengan benar, sesuai dengan faktor-faktor yang menyebabkan kesalahan teknis diatas.
- Membuat Alat Pengencang Rantai agar umur-pakai rantai lebih lama dan mempermudah mampu rawat dengan baik, karena tidak ada lagi celah yang menyebabkan gaya hantakan, serta bila rantai longgar tidak perlu dikencangkan setiap saat-saat tertentu.

METODOLOGI DAN PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan agar umur rantai bertambah panjang dengan pendekatan bila rantai setiap saat dalam keadaan kencang (adanya alat pengencang rantai) tidak mengalami hantakan ketika beban kejut/tiba-tiba terjadi. Jika hantakan sering

(berulang-ulang) terjadi rantai akan cepat lelah, maka dari itu dibuatlah suatu Alat Pengencang Rantai seperti pada gambar 3-1.

Penulis akan membuat model alat agar dapat mengukur pertambahan panjang akibat dari keausan dan deformasi :



Gambar 3-1 : Model Penelitian

HASIL

Tabel 4-1 : Data Hasil Keausan Rantai

| 5 Jam | Keausan tanpa Alat Pengencang Rantai (gram) | | | | Keausan dengan Alat Pengencang Rantai (gram) | | | | |
|--------|---|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|------|
| | Ke | Awal | akhir | slisih | % | Awal | akhir | slisih | % |
| 1 | 1 | 968.22 | 967.62 | 0.60 | 0.06 | 958.89 | 958.89 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 2 | 967.62 | 967.23 | 0.39 | 0.04 | 958.89 | 958.85 | 0.04 | 0.00 |
| 3 | 3 | 967.23 | 967.16 | 0.07 | 0.01 | 958.85 | 958.55 | 0.30 | 0.03 |
| 4 | 4 | 967.16 | 966.99 | 0.17 | 0.02 | 958.55 | 958.23 | 0.32 | 0.03 |
| 5 | 5 | 966.99 | 966.91 | 0.08 | 0.01 | 958.23 | 958.21 | 0.02 | 0.00 |
| 6 | 6 | 966.91 | 966.77 | 0.14 | 0.01 | 958.21 | 958.02 | 0.19 | 0.02 |
| 7 | 7 | 966.77 | 966.64 | 0.13 | 0.01 | 958.02 | 957.96 | 0.06 | 0.01 |
| 8 | 8 | 966.64 | 966.62 | 0.02 | 0.00 | 957.96 | 957.79 | 0.17 | 0.02 |
| 9 | 9 | 966.62 | 966.55 | 0.07 | 0.01 | 957.79 | 957.68 | 0.11 | 0.01 |
| 10 | 10 | 966.55 | 966.38 | 0.17 | 0.02 | 957.68 | 957.36 | 0.32 | 0.00 |
| Jumlah | | | | 1.84 | 0.19 | | | 1.53 | 0.16 |

Tabel 4-2 : Data Hasil Pertambahan Panjang Rantai

| 5 Jam | Pertambahan panjang tanpa Alat Pengencang Rantai (cm) | | | | Pertambahan panjang dengan Alat Pengencang Rantai (cm) | | | | |
|--------|---|--------|--------|---------|--|--------|--------|---------|------|
| | Ke | Akhir | Awal | Selisih | % | Akhir | Awal | selisih | % |
| 1 | 1 | 139.60 | 139.50 | 0.10 | 0.07 | 139.70 | 139.65 | 0.05 | 0.04 |
| 2 | 2 | 139.65 | 139.60 | 0.05 | 0.04 | 139.70 | 139.70 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 3 | 139.70 | 139.65 | 0.05 | 0.04 | 139.70 | 139.70 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4 | 139.75 | 139.70 | 0.05 | 0.04 | 139.75 | 139.70 | 0.05 | 0.04 |
| 5 | 5 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 6 | 139.80 | 139.75 | 0.05 | 0.04 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 7 | 139.80 | 139.80 | 0.00 | 0.00 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 8 | 139.80 | 139.80 | 0.00 | 0.00 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 9 | 139.80 | 139.80 | 0.00 | 0.00 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 10 | 139.80 | 139.80 | 0.00 | 0.00 | 139.75 | 139.75 | 0.00 | 0.00 |
| Jumlah | | | | 0.3 | 0.21 | | | 0.1 | 0.07 |

PEMBAHASAN

Analisa Perhitungan Statistik

Dengan menggunakan perhitungan Statistik SPSS yaitu uji beda “*PAIRED SAMPLES T-TEST*” akan dapat dianalisa perbedaan antara memakai Alat Pengencang Rantai dengan Tanpa Alat Pengencang Rantai, masing-masing untuk : Keausan dan Perpanjangan Rantai.

Hipotesanya :(Imam Ghozali, 2009)

- Ho = Kedua rata-rata populasi adalah identik sebelum dan sesudah memakai Alat Pengencang Rantai (sama/tidak berbeda secara nyata),
- Hi = Kedua rata-rata populasi adalah tidak identik sebelum dan sesudah memakai Alat Pengencang Rantai (tidak sama/berbeda secara nyata)

Uji Keausan Rantai:

Disini perhitungan yang dipakai adalah menggunakan perhitungan statistik SPSS uji beda “*Paired Sample T-Test*” yaitu dengan memasukkan data selisih dari (Tabel 4-1) diatas, baik memakai alat pengencang rantai maupun tidak memakai alat pengencang rantai, maka didapat 3 tabel sebagai berikut (tabel 5-1,tabel 5-2,tabel 5-3):.... (Imam Ghozali, 2009).

Tabel 5-1 :*Paired Sample Statistics* untuk Keausan Rantai

| | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-------------------|-------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 TANPA_ALAT | .1840 | 10 | .17778 | .05622 |
| DENGAN_ALAT | .1530 | 10 | .12623 | .03992 |

Tabel 5-3 :*Paired Samples Test* untuk Keausan Rantai

| | | Pair 1 |
|--------------------|---|-----------------------|
| | | TANPA_ALAT - DGN_ALAT |
| Paired Differences | Mean | .03100 |
| | Std. Deviation | .25946 |
| | Std. Error Mean | .08205 |
| | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | Lower | -.15461 |
| | Upper | .21661 |
| t | | .378 |
| df | | 9 |
| Sig. (2-tailed) | | .714 |

Pada tabel 5-1 terlihat ringkasan statistik kedua data, untuk data *tanpa* memakai “Alat Pengencang Rantai”, keausan rata-rata 0,1840 gram, sedangkan *dengan* “Alat Pengencang Rantai” keausan rata-

ratanya =0,1530 gram. Adanya perbedaan sebesar =0,031 gram

Pada tabel 5-2 korelasi kedua variabel (-0,441) terbalik artinya dengan Alat Pengencang Rantai, variabelnya naik, dan nilai probabilitasnya 0,202, diatas 0,05 persen (0,202 > 0,05) artinya korelasi kedua variabel tersebut tidak berhubungan, tidak erat hubungannya.

Pada tabel 5-3 (output Paired Sample Test) :

- Ho = Kedua rata-rata populasi adalah identik (sama/tidak berbeda secara nyata),
- Hi = Kedua rata-rata populasi adalah tidak identik (tidak sama/berbeda secara nyata)

Berdasarkan perbandingan “*t hitung*” dengan “*t tabel*” yaitu $0,378 < 2,262$ → maka *Ho diterima* artinya tidak ada perbedaan antara memakai Alat Pengencang Rantai dengan Tanpa Alat Pengencang Rantai. Berdasarkan Probabilitas, nilai pada output $0,714 > 0,05$,maka *Ho diterima...*→ artinya tidak ada perbedaan antara memakai Alat Pengencang Rantai dengan Tanpa Alat pengencang Rantai.

Uji Perpanjangan Rantai:

Untuk perpanjangan rantai, perhitungan memakai statistik SPSS yaitu uji beda “*Paired Sample T-Test*” juga, dengan data selisih, didapat 3 tabel dibawah ini :

Tabel 5-4 :*Paired Samples Statistics* untuk Perpanjangan Rantai

| | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-------------------|-------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 TANPA_ALAT | .0300 | 10 | .03496 | .01106 |
| DGN_ALAT | .0100 | 10 | .02108 | .00667 |

Tabel 5-5 :*Paired Samples Correlations* untuk Perpanjangan Rantai

| | | N | Correlation | Sig. |
|--------|-----------------------|----|-------------|------|
| Pair 1 | TANPA_ALAT & DGN_ALAT | 10 | .678 | .031 |

Tabel 5-6 :Paired Samples Test untuk Perpanjangan Rantai

| | | Pair 1 |
|--------------------|---|--------------------------|
| | | TANPA_ALAT - DGN_ALAT |
| Paired Differences | Mean | .02000 |
| | Std. Deviation | .02582 |
| | Std. Error Mean | .00816 |
| | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | Lower | .00153 |
| | Upper | .03847 |
| | t | 2.449 |
| | df | 9 |
| | Sig. (2-tailed) | .037 |

Pada tabel 5-4 terlihat ringkasan statistik kedua data, untuk data *tanpa* memakai “Alat Pengencang Rantai”, Perpanjangan rata-rata 0,0300 cm, sedangkan *dengan* “Alat Pengencang Rantai” Perpanjangan rata-ratanya =0,0100 cm. Adanya perbedaan sebesar =0,0200 cm

Pada tabel 5-5 korelasi kedua variabel (0,678), dan nilai probabilitasnya 0,031, dibawah 0,05 persen (0,031 < 0,05) artinya korelasi kedua variabel tersebut **berhubungan, erat hubungannya.**

Hipotesanya : (Tabel 5-5)

- Ho = Kedua rata-rata populasi adalah identik (sama/tidakberbeda secara nyata),
- Hi = Kedua rata-rata populasi adalah tidak identik (tidak sama/berbeda secara nyata)

Berdasarkan perbandingan “t- hitung” dengan “t - tabel”(Imam Ghozali, 2009) yaitu 2,449 > 2,262→maka Ho ditolak artinya ada perbedaan perpanjangan antara memakai Alat Pengencang Rantai dengan Tanpa Alat Pengencang Rantai. Berdasarkan Probabilitas, nilai pada output 0,037 < 0,05, maka Ho ditolak...→ artinya ada perbedaan perpanjangan antara memakai Alat Pengencang Rantai dengan Tanpa Alat Pengencang Rantai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan :

Berdasarkan analisa perhitungan statistik, diatas dapat disimpulkan bahwa :

- Pada perhitungan statistik keausan rantai tidak ada bedanya antara yang menggunakan Alat Pengencang Rantai dan tanpa menggunakan Alat Pengencang Rantai. Sedangkan prosentase keausan rantai mempunyai perbedaan sebesar (0,19 – 0,16)% = 0,03 %.
- Untuk penambahan panjang rantai (perhitungan statistik) terdapat perbedaan antara yang menggunakan Alat Pengencang Rantai dan tanpa menggunakan Alat Pengencang Rantai , untuk prosentase penambahan panjang rantai mempunyai perbedaan sebesar (0,21 – 0,07)% = 0,14 %.
- Karena adanya perbedaan pada perpanjangan rantai, baik dianalisa secara statistik maupun dengan prosentase adanya perbedaan 0,14 %, maka Alat Pengencang Rantai tersebut dapat menambah umur rantai sepeda motor dengan kriteria baik karena t-hitungnya > t-tabel (2,449>2,262).
- Dengan menggunakan Alat Pengencang Rantai tersebut, rantai tidak mengalami hentakan (*impact force/shot peening*) yang dapat menyebabkan rantai menjadi cepat lelah (mendapat beban fatigue).
- Pada penambahan panjang tanpa Alat Pengencang Rantai, setelah 5 jam ke 7 kalinya (lihat Tabel 4-2) rantai tidak bertambah panjang, artinya rantai telah mempunyai tegangan sisa akibat dari gaya hentakan atau *impact force* atau *shot peening* yang bersifat tekan (*compressive stress*) sehingga meningkatkan umur-pakai rantai.
- Dengan Alat Pengencang Rantai dapat mempermudah mampu rawat dengan baik, karena tidak perlu dikencangkan setiap saat-saat tertentu hingga rantai rusak (pertambahan panjang 1 %)

Saran :

- Untuk penelitian lanjutan dapat dikenakan dengan beban yang bervariasi terhadap ban dan tentunya yang masih mampu diterima rantai.
- Karena rantai bergetar/bergelombang saat beroperasi, baik bagian bawah maupun atas, maka bagian atas dapat ditambahkan alat yang dapat menghentikan getaran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cantitoeroad.com/news/66/66/, Copyright © 2010, [Chain-Wear-Test-Results. Point-to-Wippermann.php](http://Chain-Wear-Test-Results.Point-to-Wippermann.php)
2. Curtiss-Wright, **Metal Improvement Company, Shot Peening**, BroadbandPC.com Curtiss-Wright, New York.

3. D.N.Adnyana, 2003, **Struktur dan Sifat Mekanis Material Logam**, Diktat Mata Kuliah Program Pasca Sarjana (S2) ISTN - Jakarta
4. Draft Malaysian Standard, 2011, **Motorcycle Chains And Sprockets – Part 1: Motorcycle Chain – Specification (First Revision)**, Standards Management Department SIRIM Berhad (Company No. 367474-V), Selangor Darul Ehsan, Malaysia.
5. George E.Dieter, 1992, **Metalurgi Mekanik**, Erlangga, Jakarta.
6. Imam Ghozali, tahun 2009, Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
7. Jack Champaigne, January 18, 2001, **Shot Peening Overview**, www.metalimprovement.com, Jack Champaigne Electronics Inc, Japan.
8. Joseph R.Davis, **Metal Handbook, Tenth Edition, Properties and Selection : Iron, Steel, and High-Performance alloy**, ASM International Handbook Commite.
9. Lawrence H.Van Vlack, 1992, **Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)**, Erlangga, Jakarta.
10. Lee, PM. And Priest, M. (2004), “ **An Innovation Integrated Approach to Testing Motorcycle Drive Chain Lubricants**” ISBN 978-0-444-51706-7, Proc 30 th Leed-Lyon Symposium on Tribology, 2 – 5 September 2003, Amsterdam
11. Mardjono Siswosuwarno, 1982, **Logam dan Paduan Tahan Karat**, Diktat Kuliah Program Sarjana (S1) ITB Bandung.
12. MyBB, © 2002-2011, www.gordonengland.co.uk, **MyBB Group**, Copyright Gordon Inggris.
13. P. Sadagopan, R. Rudramoorthy and R. Krisnamurthy, November 2007 “**Wear And Fatigue Analysis of Two Wheeler Transmission Chain**”, vol. 66, , pp. 912-918, Journal of Scientific & Industrial Research.
14. R.S. Khurmi, J.K. Gupta, 2005, **Machine Design**, Eurasia Publisher House (PVT.) LTD, Ramnagar-New Delhi.110-005
15. Sri Widiarto, 1999, **Karat dan Pencegahannya**, Pradnya Paramita, Jakarta,.
16. Sularso, Kiyokatsu Suga, 1983, “**Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin**” PT. Pradnya Paramita
17. S.L Chawla dan R.K. Gupta, 1984, **Material Selection for Corrosion Control**, American Society for Metal All Right Reserved, American.
18. Tsubakimoto, © 1995-2006, **The Complete Guide to Chain**, Copyright by the [Tsubakimoto Chain Co.](http://www.tsubakimoto-chain.co.jp), Tokyo.
19. **Wikipedia, 18 May 2011, Wear, the [Wikimedia Foundation, Inc.](https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Featured_content_candidates/2011/05/18/Wear)**
20. W.O.Alexander, 2008, **Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan**, Gramedia, Jakarta

Pengaruh Temperatur Tuang serta Ukuran Ayakan Pasir terhadap Cacat Porositas dan *Blowhole* Coran Al-Si₇ yang Dicor dengan Metode *Evaporative*

Ivan Junaidy Abdul Karim

Jurusan teknik mesin Universitas Khairun Ternate

E-mail: ivanjunaidy@yahoo.co.id

Abstrak

Model pengecoran *evaporative* adalah suatu metode pengecoran dengan menggunakan *polystyrene foam* sebagai pola cetakan yang ditenamkan dalam pasir cetak. Logam cair akan mengisi pola cetakan setelah pola cetakan menguap akibat panas. Pengecoran *evaporative* mempunyai ketelitian yang baik karena benda yang dihasilkan sesuai dengan pola cetakan yang dibentuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh temperatur tuang terhadap cacat coran yang dicor dengan metode pengecoran *evaporative*. Paduan Al-Si₇ dilebur dalam dapur krusibel kemudian dilakukan penuangan pada temperatur tuang 680, 710 dan 740°C, dengan menggunakan pola cetakan *polystyrene foam* dengan variasi kerapatan 0.007g/cm³, serta dengan ketebalan 3, 5, 7, dan 11 mm, yang dipadatkan dalam wadah cetakan yang menggunakan pasir silika dengan variasi ukuran ayakan pasir 0.2, 0.5 dan 0.8 mm. Peningkatan temperatur tuang meningkatkan persentase porositas. Porositas tertinggi pada temperatur tuang 740°C yang mencapai nilai 2.09% dan porositas terendah 0,5% pada temperatur tuang 680°C. Porositas menurun dengan naiknya ukuran ayakan pasir. Ukuran ayakan pasir 0.2 mm memiliki porositas terbanyak yaitu 2.09% dibanding dengan porositas pada ukuran ayakan 0.8 mm mencapai 1.91%. Secara visual terlihat semakin besar ukuran ayakan pasir semakin kecil cacat (*blowhole*) serta semakin kecil pula bekas butir pada permukaan coran.

Kata kunci: Pengecoran *evaporative*, ayakan pasir, porositas, *blowhole*, *polystyrene foam*

1. Pendahuluan

Kebutuhan logam aluminium dewasa ini semakin meningkat, terutama pada industri komponen mesin seperti blok mesin, silinder, piston, dan lain sebagainya. Aluminium memiliki beberapa kelebihan dibanding logam lainnya, aluminium lebih ringan dari baja, tembaga, maupun kuningan. Aluminium juga memiliki titik lebur yang rendah, sehingga lebih mudah difabrikasi. Kekuatan dari aluminium murni tidak sebaik logam-logam lainnya, namun hal ini dapat diatasi dengan memadukan aluminium dengan logam-logam lainnya seperti tembaga, magnesium, silikon, mangan dan seng.

Model pengecoran *evaporative* adalah suatu metode pengecoran dengan menggunakan *polystyrene foam* sebagai pola cetakan yang ditenamkan dalam pasir cetak. Logam cair akan mengisi pola cetakan setelah pola cetakan menguap akibat panas. Pengecoran *evaporative* mempunyai ketelitian yang baik karena benda yang dihasilkan sesuai dengan pola cetakan yang dibentuk. Benda dengan ukuran besar dan rumit dapat diproduksi dengan cara ini, misalnya blok mesin.

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuannya, karena kelarutannya pada fasa cair lebih tinggi dari pada fasa padat. Gas yang dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas yang dikeluarkan beruklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fasa padat cair.

Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tidak saja tergantung dengan banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi

oleh logam, tetapi tergantung juga pada kecepatan pembekuan logam dalam cetakan. Makin rendah kecepatan pembekuan kemungkinan terjadinya porositas akan lebih besar.

Penelitian tentang pengaruh temperatur tuang terhadap porositas pada pengecoran *evaporative* dilakukan oleh: Shin dan Lee (2004) mengatakan peningkatan temperatur penuangan nilai porositas dan semakin tinggi pada ketebalan pola cetakan 7 mm. Bichler dkk. (2002) mengungkapkan seiring dengan peningkatan temperatur tuang maka semakin besar pula persentase porositas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur penuangan serta ukuran butiran pasir terhadap cacat porositas serta *blowhole* coran Al-Si₇ yang dicor dengan metode *evaporative*.

2. Metodologi

Bahan yang digunakan adalah Al-Si₇, dengan komposisi seperti pada Tabel 1. Pola cetakan dibuat dari *polystyrene foam* dengan tiga jenis kerapatan masing-masing 0.007 g/cm³, Pasir cetak yang digunakan adalah pasir silika dengan variasi ukuran diameter pasir 0.2, 0.5 dan 0.8 mm. Penelitian ini diawali dengan pembuatan pola cetakan yang menggunakan *polystyrene foam* dengan variasi kerapatan 0.007 g/cm³ dengan ketebalan pola cetakan 3, 5, 7 dan 11 mm serta panjang pola 180 mm (Gambar 1).

Wadah cetakan berbentuk kotak disiapkan untuk menempatkan pola cetakan sebelum pasir cetak dipadatkan menutupi seluruh permukaan pola cetakan. Penuangan dilakukan setelah logam cair

mencapai temperatur penuangan 740°C pada dapur krusible.

Pengujian porositas dilakukan dengan cara pengukuran masa jenis, melalui pengukuran berat specimen di udara dan di dalam air murni, masa jenis aktual specimen ditentukan persamaan dibawah (Shin dan Lee, 2004).

$$\rho_b = \frac{W_d \rho_w}{W_s - W_b} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Dimana : ρ_b = massa jenis aktual
 ρ_w = massa jenis air
 W_d = berat kering spesimen
 W_b = berat specimen dalam air

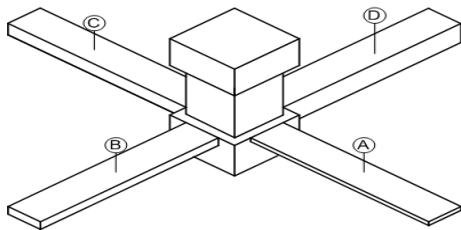
Presentase porositas tiap specimen dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\% \text{ porositas} = \left[1 - \frac{\rho_b}{\rho_{th}} \right] \times 100$$

dimana : ρ_{th} = massa jenis teoritis paduan Al-Si7 (2,658 g/cm³)

Tabel 1 Hasil uji komposisi Aluminium Al-Si7%

| Unsur | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Sn | Ti |
|-------|------|------|-------|-------|-------|----|------|----|------|
| % | 7.06 | 0.49 | 0.063 | 0.005 | 0.033 | | 0.35 | | 0.19 |

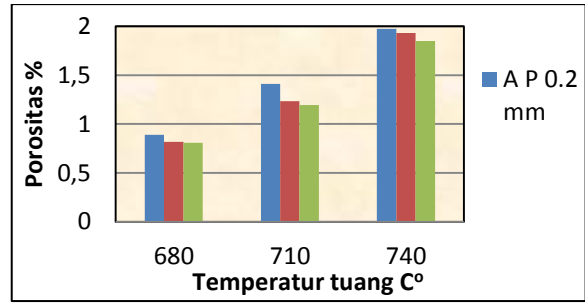


Gambar 1. Pola cetakan *polystyrene foam*

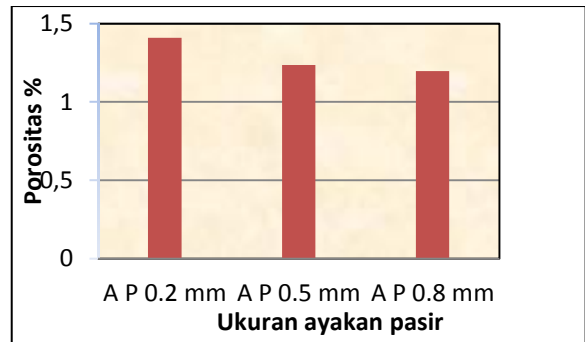
3. Hasil dan pembahasan

a. Porositas

Semakin tinggi temperatur tuang semakin besar persentase porositas (Gambar 2). Pada temperatur tuang rendah kesempatan terbentuknya porositas semakin sedikit karena jarak pembekuan yang pendek, sebaliknya pada temperatur tuang yang tinggi porositas semakin banyak karena jarak pembekuan yang panjang sehingga kesempatan untuk terbentuknya gas semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Chen dan Ravindran (2000), semakin panjang kecepatan pembekuan semakin menurunnya kerapatan aluminium. Ini dibuktikan dengan nilai porositas tertinggi pada temperatur tuang 740°C yang mencapai nilai 2.09% dan porositas terendah 0.5% pada temperatur tuang 680°C.



Gambar 2. Grafik hubungan antara temperatur tuang dengan persentase porositas



Gambar 3. Grafik hubungan antara ukuran ayakan pasir dengan persentase porositas

$$A = 180 \times 15 \times 3$$

$$B = 180 \times 15 \times 5$$

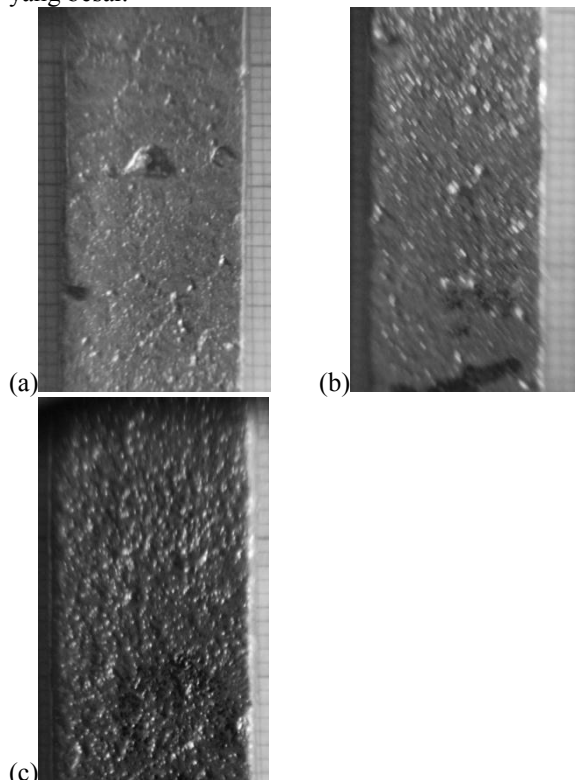
$$C = 180 \times 15 \times 7$$

Porositas menurun dengan naiknya ukuran ayakan pasir (Gambar 3). Terlihat pada tiap-tiap temperatur tuang hubungan permeabilitas pasir terhadap persentase porositas. Semakin besar ukuran ayakan pasir sifat permeabilitas cetakan semakin baik. Permeabilitas pasir cetak yang rendah mengakibatkan udara atau gas yang berasal dari pembakaran foam dengan cairan logam sulit untuk keluar dari cetakan, dengan demikian menyebabkan kemungkinan terjadi porositas semakin besar. Hal ini dibuktikan temperatur 740°C pada ukuran ayakan pasir 0.2 mm memiliki porositas terbanyak yaitu 2.09% dibanding dengan porositas pada ukuran ayakan pasir 0.8 mm mencapai 1.91%.

b. Pengaruh ukuran ayakan pasir terhadap cacat *blowhole*

Terlihat secara visual permukaan coran yang menggunakan ukuran ayakan pasir 0.2 mm memiliki cacat yang sangat menonjol diantaranya terdapat lubang-lubang (*blowhole*) yang agak besar serta terlihat bekas batas butir polystyrene foam. Penampakan cacat pada permukaan coran dengan menggunakan ukuran ayakan pasir 0.2 mm terlihat

lubang-lubang (*blowhole*) pada permukaan coran semakin kecil, serta bekas batas butir semakin berkurang, sedangkan pada permukaan coran dengan menggunakan ukuran ayakan pasir 0.8 mm terlihat cacat (*blowhole*) terbilang sangat minim dibanding dengan cacat pada pasir dengan ukuran ayakan 0.2 mm dan 0.5 mm serta bekas butir pada permukaan coran terlihat semakin tidak jelas (Gambar 4). Semakin besar ukuran ayakan pasir semakin kecil cacat (*blowhole*) serta semakin kecil pula bekas batas butir pada permukaan coran. Pembentukan cacat *blowhole* dapat dihubungkan sifat permeabilitas pasir. Permeabilitas pasir yang baik mengakibatkan gas akibat kontak panas cairan logam dengan pola cetakan dengan leluasa keluar melalui pori-pori pasir cetak, sedangkan sifat permeabilitas cetakan yang buruk menyebabkan gas terjebak dan membentuk cacat lobang (*blowhole*) pada permukaan coran. Sifat permeabilitas yang baik diperoleh pada cetakan pasir dengan ukuran ayakan yang besar.



Gambar 4. Pengamatan cacat permukaan coran pada jenis ukuran ayakan pasir yang berbeda (a) 0.2 mm, (b) 0.5 mm, dan (c) 0.8 mm

Semakin besar ukuran ayakan pasir cacat batas butir semakin tidak terlihat, hal ini disebabkan karena sifat kehalusan butiran pasir cetak, sifat kehalusan butiran pasir cetak dengan ukuran yang kecil menyebabkan dimensi benda akan terlihat lebih jelas dibanding dengan ukuran butiran pasir cetak yang besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- Semakin tinggi temperatur tuang semakin besar persentase porositas. Porositas tertinggi pada temperatur tuang 740°C yang mencapai nilai 2.09% dan porositas terendah 0.5% pada temperatur tuang 680°C.
- Porositas menurun dengan naiknya ukuran ayakan pasir. Ukuran ayakan pasir 0.2 mm memiliki porositas terbanyak yaitu 2.09% dibanding dengan porositas pada ukuran ayakan 0.8 mm mencapai 1.91%.
- Semakin besar ukuran ayakan pasir semakin kecil cacat (*blowhole*) serta semakin kecil pula bekas butiran styrofoam pada permukaan coran.

Daftar pustaka

- [1]Albonetti R., 2000 "Porosity and Intermetallic Formation in Lost Foam Castings of 356 alloy" *Thesis* The University of Western Ontario London, Ontario.
- [2]ASM International, 1992, "ASM Metal Handbook Vol.15"
- [3]Campbell, J., 2003, "Casting 2nd Edition". Butterworth-Heinemann. pp. 74
- [4]Droke J E., 2006, "Magnesium Castability of AM60B in Lost Foam Casting Using Vakum Assistance". Tennessee Technological University.
- [5]Khomamizadeh dan Ghasemi A., 2004 "Evaluation of Quality Index of A-356 Aluminum Alloy by Microstructural Analysis" Sharif University of Technology.
- [6]Kim K and Lee K., (2005), " Effect of Proses Parameters on Porosity in Aluminum Lost Foam Proses". *Journal Material Science* Vol. 21 No. 5
- [7]Mirbagheri S. H. M., Silk J. R., Davami P., (2004) "Modelling of Foam Degradation in Lost Foam Casting Process" *Journal of Material science* vol. 39. pp.4593-44603.
- [8]Shin S. R., Lee Z. H., 2004. "Hydrogen Gas Pick-Up of Alloy Melt During Lost Foam Casting". *Journal Of Material Science* Vol. 39 1536-1569.
- [9]Venkataramani R., Simpson R., and Ravinrran C., 1995. "Effec of Melt Superheat on Maximum Nuclei Density in A356 Alloy". *Elsevier Science*. Material Characterization vol. 38 pp 81-92.

Studi Pemanfaatan Kulit Buah Naga Sebagai Materi Sel Surya Dengan Metode *Dye Sensitized Solar Cell*

Jennis Fitria, Tri Aprilina Kurniasari, Adha Isori Dalimonthe, Fany Rahmansyah Abadi,
Sahat Marthua Reynard Nadeak, Hariyati Purwaningsih, Diah Susanti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. : 031 – 599 4251-54
E-mail : erutan.nature90@gmail.com

Dye sensitized solar cell prototypes have been fabricated using organic material dye from skin extraction of dragon fruit (Hylocereus undatus) and inorganic material TiO₂ (titanium dioxide) with anatase crystal structure. The use of TiO₂ as an oxide layer varied in temperature 350⁰C and 550⁰C and the holding time is varied at 30 minutes and 60 minutes. Then using the analysis of X-Ray Diffraction (XRD) shows the surface morphology of the TiO₂ hollow cavity with a size range from 64-65 nm. From the BET analyzer obtained that surface area of TiO₂ is increase significant when the calcination temperature and holding time is given more. By UV-VIS the analysis of the skin extraction of dragon fruit (Hylocereus undatus), the wavelength of extract dragon fruit skin obtained 458 nm and the absorbance value is 3,009 angstroms. When exposed to sunlight, the solar cells convert solar energy into a voltage 32,1 mV and 45,7 mV for the calcination temperature 350⁰C with a holding time 30 minutes and 60 minutes and for the 550⁰C calcination temperature and holding time 30 minutes and 60 minutes produces a voltage 42,3 mV and 59,6 mV respectively on the active area of 4 cm² with maximum efficiency 0,09%.

Kata Kunci: *dye sensitized solar cell, titanium dioxide (TiO₂), skin extraction of dragon fruit, calcination temperature, holding time.*

1. Pendahuluan

Sel surya atau sel fotovoltaik merupakan alat yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (foton) menjadi listrik. Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini salah satunya adalah sel surya yang dikembangkan oleh Grätzel pada tahun 1991. Sel ini terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO₂) yang direndam dalam sebuah fotosensitizer (pemeka cahaya). Sel ini sering juga disebut dengan sel Grätzel atau *dye sensitized solar cells* (DSSC). Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dari DSSC merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC di berbagai negara akhir-akhir ini, selain dari proses produksi yang sederhana dan biaya produksi yang murah. DSSC dengan bahan dasar TiO₂ secara umum performanya masih belum tergantikan.

Dewasa ini telah dikembangkan solar cell generasi baru yang jauh lebih murah dan mudah dibuat yang dikenal dengan *dye sensitized solar cell* (DSSC). Berbeda dengan prinsip kerja solar cell konvensional, DSSC menggunakan prinsip elektrokimia sederhana untuk menangkap energi surya yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Pengembangan dari DSSC itu sendiri sudah mampu untuk dibuat dengan menggunakan *dyes* berbahan organik. Hal ini sekali lagi mampu menekan biaya pembuatan sel surya.

Penelitian ini dikhususkan untuk mempelajari pengaruh dari temperatur kalsinasi dan waktu tahan terhadap struktur mikro TiO₂ sebagai layer oksida dari DSSC dan sifat kelistrikan dari sel surya yang disensitisasi dengan ekstrak kulit buah naga. Variabel temperatur kalsinasi yang dipakai sebesar 350⁰C dan 550⁰C dengan variasi waktu tahan 30 dan 60 menit yang kemudian dijadikan prototype DSSC.

Metodologi

Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain adalah kaca konduktif *Indium Tin Oxide* (ITO) yang transparan, *crucible*, pipet tetes, gelas ukur, gelas kimia, mesin *spin coating*, mesin *sputtering*, multimeter, *magnetic stirrer*, neraca *digital*, dan *furnace muffle*.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah asetonitrile, KI, etanol, I₂, serbuk TiO₂ MERCK, asam asetat, ekstrak kulit buah naga, dan aquades.

Prsedur Penelitian

Preparasi pasta TiO₂

Bahan dasar dari layer oksida *Dye Sensitized Solar Cell* ini adalah semikonduktor TiO₂ buatan Merck dengan takaran 3,5 gram yang selanjutnya dicampur dengan *ethanol* sebanyak 15 ml di dalam *beaker glass*. Campuran ini kemudian diletakkan di atas *stirrer plate* yang kemudian diaduk rata dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya pasta TiO₂ disimpan dalam wadah tertutup

Preparasi Larutan Elektrolit

Dalam pengerjaan larutan elektrolit dilakukan dengan cara melarutkan campuran antara 0,8 gram KI 0,5 M (*Potassium Iodide*) ke dalam larutan acetonitrile sebanyak 10 ml yang kemudian diaduk merata. Selanjutnya ditambahkan 0,127 gram I_2 (*Iodine*) ke dalam larutan tersebut sampai ketiga bahan tersebut terlarut dengan sempurna. Kemudian simpan dalam botol tertutup.

Preparasi Larutan Dye Ekstrak Kulit Buah Naga

Ekstrak kulit buah naga yang digerus dilarutkan dengan campuran *aquades* sebanyak 25 ml, *ethanol* sebanyak 21 ml, dan asam asetat sebanyak 4 ml. Kemudian ekstrak yang telah dicampurkan tersebut disaring dengan kain kassa agar diperoleh larutan *dye*-nya saja.

Deposisi Layer Oksida TiO_2

Untuk pendeposisian lapisan TiO_2 dilakukan dengan menggunakan mesin *spin coating* dengan putaran 500 RPM (*rotation per minute*) selama 30 detik dan 2000 RPM (*rotation per minute*) selama 90 detik. Kemudian pasta TiO_2 yang telah siap diteteskan sebanyak 3 tetes ke atas kaca konduktif yang dilanjutkan menekan tombol *enter* pada mesin *spin coating* sehingga mesin berputar sesuai dengan resep yang telah diatur. Setelah mesin berhenti didiamkan hasil *spin coating* tersebut selama 15 menit.

Proses Kalsinasi Layer Oksida pada Kaca Konduktif

Kaca konduktif yang telah dilapisi pasta TiO dimasukkan ke dalam furnace untuk dilakukan proses kalsinasi. Proses kalsinasi ini dilakukan dengan variasi temperatur yaitu $350^\circ C$ dan $550^\circ C$ dengan waktu *holding* masing-masing adalah 30 menit dan 60 menit.

Sensitisasi Layer Oksida *Transparent Conductive Oxide*

Untuk pensensitisasian *layer* oksida terhadap larutan *dye* ekstrak kulit buah naga cukup dilakukan dengan mencelupkan *Transparent Conductive Oxide layer* oksida yang telah dikalsinasi ke dalam *dye* larutan kulit buah naga. Kemudian *Transparent Conductive Oxide* diletakkan dengan posisi *layer* oksida menghadap ke atas. Kemudian didiamkan selama kurang lebih dua jam sehingga larutan *dye* menyerap sempurna ke dalam *layer* oksida. Setelah didiamkan di dalam larutan *dye* kulit buah naga, *layer Transparent Conductive Oxide* dibilas dengan *aquades* dan *ethanol* dan keringkan dengan kertas tisu.

Counter Katalis Elektroda

Untuk penggunaan *counter* katalis elektroda digunakan coating Pd/Au yang kemudian di-*sputtering* dengan mesin *coating* untuk didapatkan penyebaran yang merata dari coating Pd/Au pada kaca *Transparent Conductive Oxide* yang konduktif selama 15 menit.

Assembling *Dye Sensitized Solar Cell*

Perakitan *Dye Sensitized Solar Cell* dapat dilakukan dengan langkah-langkah seperti di bawah ini

1. Satu buah *Transparent Conductive Oxide* layer oksida dan satu buah counter elektroda Pd/Au ditumpuk dengan permukaan yang saling berhadapan. Kemudian *Transparent Conductive Oxide* disusun membentuk sebuah struktur *sandwich*. Struktur *sandwich* yang dibuat harus dipastikan tidak ada air dan udara yang terperangkap dalam prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*.

2. Diberikan *offset* pada ujung masing-masing elektroda sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik.

3. Kedua pinggir sel *Dye Sensitized Solar Cell* yang tidak diberi *offset* dijepit dengan klip agar prototipe melekat sempurna.

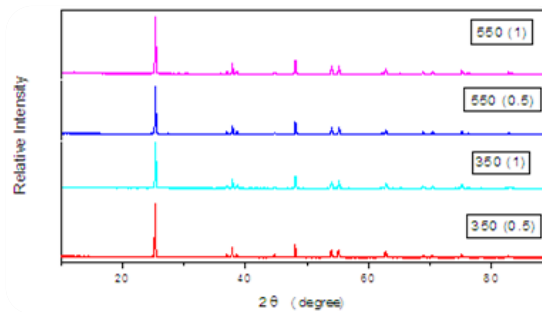
4. Lalu diteteskan 2-3 tetes larutan elektrolit triiodide dari kedua ujung *offset* prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*. Gaya kapilaritas akan menyerap larutan elektrolit ke dalam *layer* oksida. Pastikan larutan elektrolit menyerap sempurna ke seluruh *layer* oksida.

5. *Dye Sensitized Solar Cell* pun sudah siap untuk diuji kelistrikkannya.

Hasil

X-Ray Diffraction (XRD)

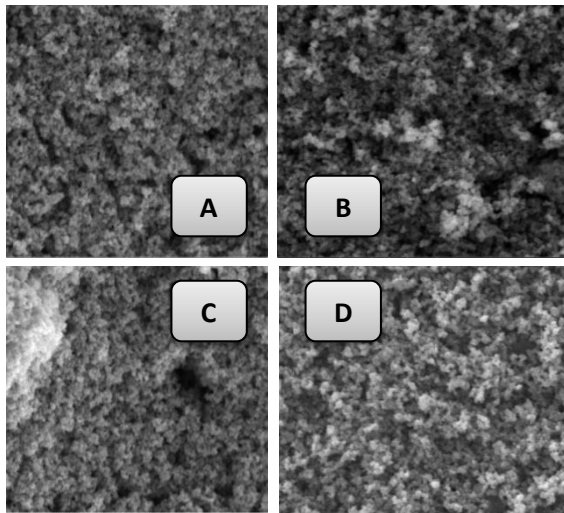
Dari hasil pengujian XRD didapat grafik XRD seperti pada gambar 1 yang dapat terlihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan ketika variabel temperatur kalsinasi dan waktu tahan diberikan



Gambar 1. Hasil XRD serbuk TiO_2 dengan variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan

Scanning Electron Microscope (SEM)

Untuk mengetahui morfologi serbuk TiO_2 dilakukan pengujian SEM dengan perbesaran 20.000x pada masing-masing variabel temperatur dan waktu tahan.



Gambar 2. Hasil SEM serbuk TiO₂ dengan perbesaran 20.000x

- (a) temperatur 350°C holding time 30 menit,
- (b) temperatur 350°C holding time 60 menit,
- (c) temperatur 550°C holding time 30 menit,
- (d) temperatur 550°C holding time 60 menit

BET (Brunauer, Emmet, Teller)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan dari serbuk TiO₂ yang dapat mempengaruhi sifat kelistrikan dari DSSC. Berdasarkan tabel di bawah semakin tinggi temperatur kalsinasi dan waktu tahan akan membuat luas permukaan dari serbuk TiO₂ membesar.

Tabel 1. Pengaruh dari variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan terhadap luas permukaan serbuk TiO₂

| Temperatur (°C) | Waktu Tahan | Luas Permukaan |
|-----------------|-------------|-------------------------|
| 350 | 30 menit | 6.619 m ² /g |
| | 60 menit | 8.853 m ² /g |
| 550 | 30 menit | 8.797 m ² /g |
| | 60 menit | 9.384 m ² /g |

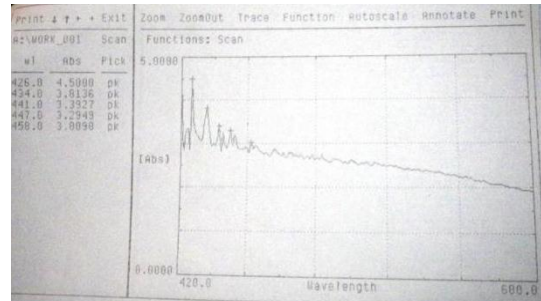
Absorbansi

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui rentang panjang gelombang yang mampu diserap oleh ekstrak kulit buah naga terhadap cahaya tampak. Selain itu dapat diketahui pula nilai absorbansi yang dimiliki ekstrak kulit buah naga sebagai larutan dye

| Temperatur (°C) | Holding Time (menit) | Sudut Theta | Intensitas | Cos Theta | FWHM (derajat) | FWHM (radian) | Ukuran Partikel (nm) |
|-----------------|----------------------|-------------|------------|-------------|----------------|---------------|----------------------|
| 350 | 30 | 25,3256 | 3038,73 | 0,903891514 | 0,1338 | 0,002334067 | 64,98888 |
| | 60 | 25,3576 | 3173,9 | 0,903652466 | 0,1338 | 0,002334067 | 65,0060 |
| 550 | 30 | 25,3473 | 3215,08 | 0,90372944 | 0,1338 | 0,002334067 | 65,0005 |
| | 60 | 25,3431 | 3084,92 | 0,90376082 | 0,1338 | 0,002334067 | 64,9982 |

Gambar 6. Identifikasi hasil XRD serbuk

dari DSSC. Pada pengujian absorbansi ekstrak kulit buah naga didapat panjang gelombang sebesar 458 nm yang berarti bahwa larutan ekstrak kulit buah naga dapat menangkap spectrum cahaya maksimum sebesar 458 nm dengan nilai absorbansi sebesar 3,009 angstrom.



Gambar 3. Hasil pengujian Absorbansi dari ekstrak kulit buah naga

Kelistrikan

Pada pengujian kelistrikan didapat bahwa kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan akan membuat kenaikan nilai kelistrikan dari DSSC baik kuat arus maupun nilai voltase yang dihasilkan

Tabel 2. Pengujian kelistrikan dari DSSC dengan variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan

| No | Temperatur | Waktu Tahan 30 menit | | Waktu Tahan 60 menit | |
|----|------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | | I (µA) | V (mV) | I (µA) | V (mV) |
| 1. | 350°C | 4,6 | 32,1 | 6,2 | 45,7 |
| 2. | 550°C | 5,1 | 42,3 | 7,3 | 59,6 |

Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi dan Waktu Tahan terhadap Struktur Mikro dari Lapisan Nanopori TiO₂

Pada hasil XRD (gambar 1) serbuk TiO₂ akan diperoleh besar ukuran partikel dari serbuk TiO₂ dengan variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan. Untuk mendapatkan ukuran partikel dari serbuk TiO₂ tersebut digunakan persamaan Scherer seperti di bawah ini:

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta}$$

Sehingga didapat perhitungan sebagai berikut :

Dengan kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan dari pemanasan lapisan nanopori TiO₂ tidak menimbulkan perubahan yang signifikan pada ukuran partikel TiO₂ yang didapat. Hal ini dikarenakan serbuk TiO₂ yang digunakan merupakan hasil sintesis pabrik buatan MERCK yang sebelumnya sudah diberikan perlakuan dengan temperatur yang setidaknya lebih dari 550°C. Hal ini menyebabkan tidak terjadi perubahan struktur yang signifikan baik besar ukuran partikel dari TiO₂ maupun diameter pori dari serbuk TiO₂ yang secara visual terlihat dari hasil foto SEM pada gambar 2.

Namun pada hasil BET (gambar 3) serbuk TiO₂ diperoleh kenaikan luas permukaan serbuk TiO₂. Pada temperatur 350°C dengan waktu tahan 30 menit didapat luas permukaan TiO₂ sebesar 6.619 m²/g dan untuk waktu tahan 60 menit didapat luas permukaan sebesar 8.853 m²/g. Sedangkan pada temperatur 550°C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit didapat luas permukaan sebesar 8.797 m²/g dan 9.384 m²/g berturut-turut. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan pada serbuk TiO₂ akan meningkatkan luas permukaan dari serbuk TiO₂ yang akan memberikan pengaruh pada proses sensitisasi dan kelistrikan dari DSSC.

Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi dan Waktu Tahan Terhadap Nilai Kelistrikan dari DSSC

Dengan kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan pada lapisan nanopori TiO₂ memberikan pengaruh semakin meningkatnya nilai kelistrikan dari DSSC yang telah difabrikasi baik nilai kuat arus dan voltase yang dihasilkan. Hal ini tertera pada gambar 5, di mana pada temperatur 550°C dengan waktu tahan 60 menit memiliki nilai kelistrikan yang lebih tinggi dibandingkan variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang lainnya yaitu kuat arus sebesar 7,3μA dan nilai voltase sebesar 59,6 mV. Dari data terdapat perbandingan yang lurus antara nilai luas permukaan dengan nilai kelistrikan yang didapat. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh luas permukaan dari lapisan nanopori TiO₂ dari yang semakin besar ketika diberi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang semakin meningkat yang tentu saja akan membuat proses sensitisasi larutan dye ke nanopori TiO₂ akan semakin cepat dan membuat jumlah foton cahaya matahari akan semakin banyak yang tertangkap dan dikonversi menjadi listrik.

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan yaitu XRD, SEM, BET, dan kelistrikan maka didapat kesimpulan bahwa :

1. Kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ukuran partikel dan diameter pori dari

serbuk TiO₂ yang telah divariasikan temperatur kalsinasi 350°C dan 550°C dan waktu tahan dari 30 sampai 60 menit.

2. Kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan pada lapisan TiO₂ akan meningkatkan luas permukaan aktif dari lapisan nanopori TiO₂.

3. Semakin meningkatnya luas permukaan dari nanopori TiO₂ akan membuat kenaikan nilai kelistrikan pada DSSC. Nilai terbesarnya adalah kuat arus sebesar 7,3μA dan nilai voltase sebesar 59,6 mV dengan efisiensi maksimum 0,09%.

Daftar Pustaka

- Greg P. Smestad, 2002, "Optoelectronics of Solar Cells", SPIE PRESS.
- Green, M. A., 2001, "Solar Cell Efficiency Tables (Version 18)", Prog. Photovolt. Res. Appl., 9, 287-93
- J. Halme, 2002, "Dye sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preliminary test", Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- R. Sastrawan, 2006, "Photovoltaic modules of dye solar cells", Disertasi University of Freiburg.
- Shah, A., et al., 1999, "Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells", Science, 30 July, 285, 692-8.

Mendukung Penyediaan Energi dengan Pemanfaatan Sumber-Sumber Terbarukan untuk Mendukung Pembangunan di Sulawesi Tenggara

Ridway Balaka^{1a}, Aditya Rachman^{2b}, Yuni Aryani Koedoes^{3c} ^{1,2} Jurusan Teknik Mesin Universitas Haluoleo, Kendari Indonesia, ^aEmail: bridway@yahoo.com.au, ^bEmail: aditya_rchmn@yahoo.com, ³ Jurusan Teknik Elektro Universitas Haluoleo, Kendari Indonesia, ^cEmail: yuni.koedoes@yahoo.com
Kampus Hijau Bumi Tridarma Andounohu Kendari, Telp. (0401) 394163, Fax. (0401) 390006

Abstract

Energy is one of the important elements in supporting the economic and social development. Currently, fossil fuels are the main contributors in providing the energy sources in the globe. However, their utilizations pose the problem of the scarcity and the environmental degradation. The utilization of the renewable energy sources can be an alternative approach in reducing on the dependence on the unclean and exhaustible fossil resources. Southeast Sulawesi, one of the developing regions in Indonesia, seems posing the problem on the energy provision of its communities. However, it is believed that this region has potential local renewable resources which can be alternatively utilizes in assisting in fulfilling the needs on the energy. This paper attempts to deliver a discussion on some potential renewable energy resources in Southeast Sulawesi. The methodology of generating this paper is literature study of some journal papers, magazines and government data. The paper also includes discussions on the topography-geography condition, the socio-economic condition, the electricity condition and the problem and the government policy. It is concluded that this regions has many local potential renewable resources such as biomass, wind, solar and hydro which can be utilized in supporting the energy provision of its communities in order to support the development.

Keywords: Southeast Sulawesi, renewable sources, development, potential.

I. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan standar hidup masyarakat secara langsung atau tidak langsung memiliki keterkaitan dengan meningkatnya penggunaan energi (Nguyen KQ, 2006). Listrik adalah salah satu bentuk energi yang telah diterima sebagai salah satu kekuatan pendorong pembangunan ekonomi semua negara (Kaundinya dkk, 2009). Diyakini bahwa ada hubungan yang nyata antara kemiskinan dan akses terhadap listrik. Tingkat kemiskinan akan meningkat sejalan dengan semakin jauhnya akses suatu daerah, dan biaya untuk penyediaan listrik di daerah – daerah tersebut juga akan meningkat karena kebutuhan biaya transportasi, pemeliharaan dan transmisi yang tinggi (Zand dkk, 2009). Diyakini bahwa hampir sekitar 1.6-2 milyar manusia hidup tanpa akses listrik, dimana sebagian besar dari mereka tinggal di negara-negara yang sedang berkembang (Zand dkk, 2009).

Indonesia, salah satu negara yang sedang berkembang, terdiri dari lebih dari 17.500 kepulauan. Menurut data dari Biro Pusat Statistik (BPS) tahun 2010, jumlah penduduk di Indonesia lebih dari 200 juta, di mana hampir setengah dari jumlah ini tinggal di wilayah pedesaan. Jumlah penduduk di bawah garis kemiskinan di Indonesia adalah 12,4%, di mana hampir tiga perempat dari jumlah ini tinggal di daerah pedesaan (BPS 2011).

Menurut data dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (ESDM, 2011), rasio kelistrikan di Indonesia adalah 67%. Sisa dari persentasi ini, yaitu ekuivalen dengan sekitar 19 juta rumah tangga, tinggal di wilayah timur Indonesia yang sebagian wilayahnya merupakan daerah-daerah yang sedang berkembang (ESDM, 2011).

Salah satu faktor yang menghambat program penyediaan kelistrikan adalah kondisi topografi dan geografi suatu daerah (Dasuki, 2001). Kondisi geografi-topografi yang berkepulauan, bergunung dan berbukit dari suatu wilayah dapat menyulitkan proses pelayanan penyediaan energi listrik sebagai akibat dari biaya distribusi dan transmisi yang besar. Keterbatasan infrastruktur dan ketidakseragaman distribusi populasi penduduk disuatu wilayah juga dapat menjadi hambatan dalam proses penyediaan kelistrikan bagi masyarakat (Mansur 2010).

Kondisi ketersediaan sumber energi saat ini juga dapat menjadi salah satu penghambat program penyediaan listrik. Indonesia saat ini mengalami masalah ketidakseimbangan antara penyediaan dan permintaan energi. Saat ini Indonesia telah menjadi negara net importer minyak dan tidak memiliki cadangan terbukti minyak yang banyak (Partowidagdo 2012). Data dari Departemen Energi dan Mineral menunjukkan bahwa produksi minyak di Indonesia mengalami penurunan dari sekitar 500 juta barel pada tahun 2000 menjadi sekitar 350 juta

barel pada tahun 2010. Dalam jangka waktu ini, nilai ekspor minyak mengalami penurunan sedangkan nilai impor minyak mengalami peningkatan (ESDM 2010).

Energi alternatif dengan menggunakan sumber terbarukan memiliki potensi untuk menyediakan pelayanan kelistrikan secara lokal. Hal ini akan mengurangi hambatan penyediaan listrik yang disebabkan oleh kendala geografi dan topografi dan kendala ketidakseragaman populasi. Bagi masyarakat di wilayah pedesaan, pelayanan energi terbarukan berbasis bahan baku lokal memiliki potensi untuk memberikan penerangan rumah tangga, kesempatan belajar bagi anak-anak dan orang dewasa pada malam hari dan sumber energi untuk motor listrik kecil, seperti pompa air, untuk membantu meningkatkan kehidupan sosial dan ekonomi (Zou dkk 2002). Penggunaan energi ini juga relatif tidak tergantung dari kendala keterbatasan, karena sebagian besar sumber-sumber energi ini dapat diperbaharui. Selain itu, sebagian besar sumber daya ini juga mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan relatif lebih kecil dibandingkan dengan sumber energi minyak, batubara dan gas.

Sulawesi Tenggara adalah salah satu provinsi yang sedang berkembang di wilayah timur Indonesia yang juga sepertinya masih memiliki masalah dalam penyediaan energi listrik bagi masyarakat. Namun, diyakini bahwa provinsi ini memiliki sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan, yang dapat menjadi salah satu solusi yang menjanjikan dalam menangani masalah kelistrikan.

Makalah ini membahas potensi pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit listrik di Sulawesi Tenggara. Makalah ini disusun kedalam sub topik sebagai berikut; Sulawesi Tenggara; Kondisi Geografi-Topografi dan Kondisi Sosial-Ekonomi, Kondisi Kelistrikan dan Permasalahannya, Beberapa Potensi Sumber Energi Terbarukan di Sulawesi Tenggara, Kebijakan Pemerintah, Diskusi dan Kesimpulan dan Rekomendasi.

Metodologi dalam membuat makalah ini adalah kajian literatur dari beberapa makalah, majalah dan data pemerintah seperti Biro Pusat Statistik (BPS) dan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

II. Sulawesi Tenggara ; Kondisi Geografi-Topografi dan Kondisi Sosial-Ekonomi

Sulawesi Tenggara terletak di semenanjung tenggara pulau Sulawesi. Secara geografis wilayah ini terletak di bagian selatan khatulistiwa, di antara 02 ° 45 'dan 06 ° 15' Lintang Selatan dan di antara

120 ° 45 'dan 124 ° 45' Bujur Timur. Bagian terbesar dari kawasan ini adalah air (laut) (74% atau 110.000 km²). Daratan (26%) terdiri dari pulau utama dan pulau-pulau lebih kecil (BPS 2010).

Provinsi ini dibagi secara administratif menjadi sepuluh kabupaten, yaitu Buton, Muna, Konawe, Kolaka, Konawe Selatan, Wakatobi, Bombana, Kolaka Utara, Buton Utara dan Konawe Utara, dan dua kota, yaitu Kendari dan Bau-Bau. Jumlah desa lebih dari 2,000 di mana hampir 40% dari jumlah ini tinggal di daerah pesisir (BPS 2010).

Secara topografi, Sulawesi Tenggara memiliki karakteristik permukaan tanah bergunung-gunung dan bergelombang. Luas daerah pegunungan adalah 1.868.860 ha, yang sebagian besar berada pada ketinggian antara 100 sampai 500 meter dengan kemiringan 40 derajat (BPS 2010).

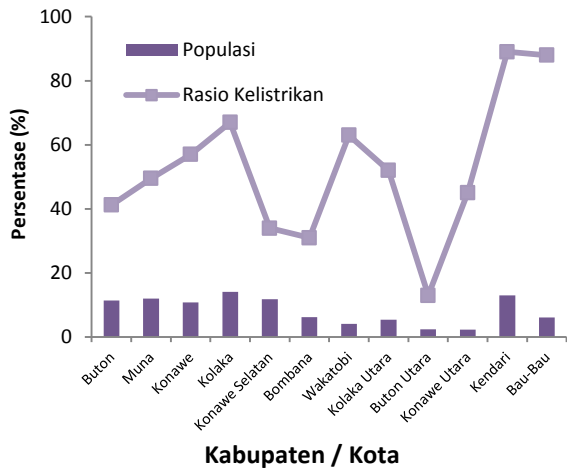
Dalam sensus pada tahun 2010, jumlah penduduk di provinsi ini lebih dari 2,2 juta jiwa. Mayoritas penduduk tinggal di Kolaka dan Kendari (BPS 2010).

Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan di provinsi ini adalah 14,61% (standar di bawah 1 dolar per hari) dan sekitar 91,53% dari masyarakat miskin ini tinggal di daerah pedesaan (BPS 2010). Produk Domestik Bruto (PDB) adalah sekitar 400 dolar dengan kontribusi utama dari sektor pertanian (Indonesia; 2400 dolar) (BPS 2010).

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di provinsi ini adalah 69 (Indonesia; 71.17), tingkat melek huruf dewasa adalah 93,6% & 86,6% untuk pria dan wanita (Indonesia; 94,3% dan 87,5%) dan umur harapan hidup adalah 70,4 tahun (Indonesia; 70,9) (BPS 2010).

III. Kondisi Kelistrikan dan Permasalahannya

Masyarakat Sulawesi Tenggara menggunakan listrik yang pada umumnya bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), sedangkan masyarakat pedesaan yang tidak memiliki akses jaringan listrik PLN menggunakan sumber-sumber non-listrik dan minyak tanah (BPS Sultra 2010). Jumlah total daya listrik yang digunakan oleh pelanggan adalah 356 GWH (BPS 2010), yang ekuivalen dengan listrik-perkapita sekitar 50 watt (Pada tahun 2009, konsumsi total listrik di Indonesia adalah 155 TWH atau ekuivalen dengan listrik-perkapita kapita watt 174 (Badan Energi Internasional (IEA), 2012)).



Gambar 1. Populasi & distribusi Listrik di Sulawesi Tenggara
(Sumber: Rasio elektrifikasi (ESDM Sultra 2011) dan penduduk (BPS Sultra 2010))

Provinsi ini memiliki rasio elektrifikasi sebesar 56%. Persentase ini ekuivalen dengan jumlah rumah tangga yang terkoneksi listrik sebesar 307,531 dari total 547,924 rumah tangga dan jumlah desa dengan koneksi listrik 1440 dari total 2196 desa (ESDM Sultra, 2011).

Selain dari fakta diatas, di provinsi ini sepertinya juga ada ketimpangan dalam pendistribusian listrik di antara kabupaten. Gambar 1 menunjukkan perbandingan rasio elektrifikasi dan distribusi penduduk di semua kabupaten dan kota di Sulawesi Tenggara. Data dari rasio elektrifikasi ini berasal dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM 2011) dan data distribusi penduduk berasal dari Biro Pusat Statistik Sulawesi Tenggara (BPS Sultra 2010). Perbandingan ini menunjukkan bahwa kota Kendari dan Bau-Bau memiliki rasio elektrifikasi tertinggi. Sebaliknya, di beberapa kabupaten seperti Konawe Selatan, Bombana dan Buton Utara, memiliki rasio elektrifikasi kurang dari 40%.

IV. Beberapa Potensi Sumber Energi Terbarukan di Sulawesi Tenggara

Sulawesi Tenggara diyakini memiliki potensi sumber daya alam yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan untuk membantu dalam memenuhi kebutuhan kelistrikan. Paragraf berikut menyajikan beberapa potensi sumber daya alam terbarukan diprovinsi ini.

Energi Surya

Sebagian besar wilayah di Indonesia terletak di sekitar garis khatulistiwa. Hal ini memungkinkan wilayah-wilayah ini untuk menerima intensitas sinar matahari yang tinggi. Dalam sebuah laporan dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (2002), potensi sumber energi berbasis matahari di

Indonesia adalah lebih dari 1 miliar MW (Marpaung dkk 2007).

Sulawesi Tenggara adalah salah satu daerah di Indonesia yang sangat potensial untuk pengembangan energi terbarukan berbasis surya karena kondisi geografis wilayah yang terletak disekitar garis khatulistiwa. Sebuah studi tentang perhitungan intensitas radiasi surya yang dilakukan oleh Sudia Dkk (2011) menunjukkan bahwa radiasi matahari tahunan di Sulawesi Tenggara adalah 1985 kWh/m² (atau 5,57 KWH/m²/day).

Energi Air

Indonesia diyakini memiliki potensi energi berbasis air sebesar 75 GW, yang merupakan salah satu cadangan tenaga air terbesar di Asia (Hayes D, 2004). Sebagian besar dari potensi ini tersebar di lebih dari 1300 lokasi dengan beberapa kemungkinan skala ukuran dapat dibangun. Sekitar setengah dari potensi tenaga air di Indonesia dapat dimanfaatkan untuk membangun tenaga air berskala dengan kapasitas terpasang 100 MW dan sisanya dapat dikembangkan dengan membangun skala yang lebih kecil, termasuk proyek mini dan mikro hidro (Hayes D, 2004).

Tabel 1.
Beberapa sungai potensial untuk pengembangan energi yang terbarukan di Sulawesi Tenggara

| No | Sungai | Kabupaten | Debit (M ³ /s) | Kapasitas (MW) |
|----|---------------|----------------|---------------------------|----------------|
| 1 | Newijo | Konawe Utara | 3 | 0.8 |
| 2 | Lasolo | Konawe Utara | 124 | 100 |
| 3 | Lalindu | Konawe Utara | 77 | 60 |
| 4 | Konaweha | Konawe Utara | 413 | 200 |
| 5 | Lansilowo | Konawe | 5.1 | 3 |
| 6 | Mosolo | Konawe | 5.3 | 4 |
| 7 | Lampeapi | Konawe | 13.8 | 10 |
| 8 | Lawey Roraya | Konawe Selatan | 12.3 | 8 |
| 9 | Ngaringari | Buton | 0.35 | 0.25 |
| 10 | Winto Winning | Buton | 12.3 | 10 |
| 11 | Kabungka | Buton | 4.6 | 2 |
| 12 | Sampolawa | Buton | 5.4 | 2.3 |
| 13 | Lakaritsu | Buton | 0.27 | 0.08 |
| 14 | LakangBola | Buton | 4 | 3.1 |
| 15 | Lakawa | Bombana | 0.28 | 0.21 |
| 16 | Emoiko | Bombana | 0.5 | 0.375 |

| | | | | |
|----|------------|--------------|------|--------|
| 17 | Sangkona | Bombana | 0.5 | 0.375 |
| 18 | Labuhan | Buton Utara | 0.47 | 0.3525 |
| 19 | Langkoroni | Buton Utara | 0.28 | 0.21 |
| 20 | Pohoroa | Buton Utara | 0.32 | 0.24 |
| 21 | Langkumbe | Buton Utara | 0.56 | 0.42 |
| 22 | Ronta | Buton Utara | 0.23 | 0.1725 |
| 23 | Towor | Muna | 8 | 6 |
| 24 | Katangana | Muna | 3.5 | 2 |
| 25 | Toki | Muna | 1.1 | 0.76 |
| 26 | Latobera | Muna | 0.2 | 0.15 |
| 27 | Lantowu | Kolaka Utara | 3.2 | 2.2 |
| 28 | Alawatu | Kolaka Utara | 26.3 | 20 |
| 29 | Tamboli | Kolaka | 7 | 4.5 |
| 30 | Mangolo | Kolaka | 1.4 | 0.8 |
| 31 | Oko-Oko | Kolaka | 2.53 | 1.6 |

(Source ESDM Sultra 2011)

Sulawesi Tenggara yang memiliki karakteristik topografi pegunungan dan perbukitan dan adanya beberapa sungai, sangat potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Hal ini didukung oleh kondisi bahwa beberapa sungai tersebut mengalir di hampir setiap kabupaten/kota di provinsi ini (BPS Sultra 2010). Sulawesi Tenggara memiliki potensi energi berbasis air sungai lebih dari 800 MW, yang dapat dibangun dalam skema besar, skema mini dan skema mikro (ESDM Sultra 2010). Tabel 1 menunjukkan beberapa sungai yang potensial untuk pembangkit energi listrik di Sulawesi Tenggara.

Energi Biomasa

Beberapa sumber penting dari biomasa di Indonesia dapat berasal dari residu padi, kelapa sawit, tebu, kelapa, hasil hutan dan limbah hasil pengolahan kayu, pertanian dan peternakan hewan (ZREU, 2000). Sulawesi Tenggara juga memiliki potensi untuk pengembangan energi terbarukan berbasis biomasa karena ketersediaan sumber daya alam vegetasi yang melimpah.

Potensi sumber energi terbarukan berbasis biomasa di provinsi ini adalah sekitar 800 MW (ESDM Sultra 2010). Kondisi ini didukung oleh banyak pemanfaatan lahan untuk tanaman. Menurut BPS (2010), hutan mendominasi pemanfaatan lahan, dengan hampir 2 juta ha diikuti oleh tanah perkebunan (658.186 ha), tanah kosong / kebun tanah (209.068 ha), lahan berhutan (158.731 ha) dan lahan sementara (132.299 ha). Dari pemanfaatan beberapa lahan ini, setidaknya ada delapan jenis

tanaman pangan dibudidayakan, yaitu: padi, jagung, singkong, ubi jalar, kacang tanah, kedelai dan kacang hijau. Selain itu, ada beberapa tanaman perkebunan yang lain, termasuk kelapa, kopi, kapuk, lada, pala, cengkeh, jambu mete, kemiri, kakao, gula kelapa, vanili, pinang, asam jawa, tembakau, kelapa hibrida, kapas, tebu, jahe dan sagu (BPS 2010).

Selain bentuk energi bersumber vegetasi, energi berbasis biogas juga dapat menjadi sumber energi alternatif. Provinsi ini memiliki potensi sumber daya terbarukan berbasis biogas lebih dari 10 MW (ESDM Sultra 2010). Hal ini didukung oleh kondisi bahwa provinsi ini memiliki komoditas produk hewan, termasuk ternak besar (sapi, kerbau dan kuda), ternak kecil (kambing, domba dan babi) dan unggas (BPS 2010).

Sumber Energi Terbarukan yang lain

Selain, energi surya, air, biomassa dan biogas, sumber daya alam terbarukan yang lain, seperti angin, laut dan panas bumi juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung penyediaan energi di provinsi ini.

Angin dapat menjadi salah satu sumber energi bagi masyarakat di daerah pesisir. Data ESDM Sultra menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata di sebagian besar daerah pesisir di provinsi ini adalah 3-5 m/s (ESDM Sultra 2010).

Selain itu, laut, yang merupakan bagian terbesar dari wilayah di provinsi ini, dapat menjadi pilihan lain untuk penyediaan energi dengan pemanfaatan teknologi energi gelombang laut, teknologi energi pasang surut dan teknologi energi arus laut.

Sulawesi Tenggara juga diyakini memiliki potensi energi panas bumi sebesar lebih dari 380 MWe (ESDM Sultra 2011). Tabel 2 menunjukkan beberapa lokasi yang memiliki potensi untuk pengembangan energi yang terbarukan berbasis panas bumi.

Tabel 2. Beberapa potensi untuk pengembangan listrik tenaga panas bumi lokasi di Sulawesi Tenggara

| No | Lokasi | Kapasitas (Mwe) | Kabupaten |
|----|-----------|-----------------|----------------|
| 1 | Lainea | 60 | Konawe Selatan |
| 2 | Pancasila | 15 | Konawe Selatan |
| 3 | Sonae | 10 | Konawe Selatan |
| 4 | Lampeapi | 10 | Konawe |
| 5 | Wongkolo | 5 | Konawe |
| 6 | Abuki | 20 | Konawe |

| | | | |
|----|-------------------|----|--------------|
| 7 | Kaendi | 30 | Konawe |
| 8 | Landai | 20 | Konawe |
| 9 | Puungkolo | 15 | Konawe |
| 10 | Pebuinga | 10 | Konawe |
| 11 | Osuntunduhu | 10 | Konawe |
| 12 | Nambomopula | 10 | Konawe |
| 13 | Pudonggala | 10 | Konawe |
| 14 | Lemomole_lambu | 10 | Konawe |
| 15 | Lamopula | 10 | Konawe |
| 16 | Matandahi | 20 | Konawe |
| 17 | Anggolom – Baebia | 10 | Konawe Utara |
| 18 | Bahomokule | 30 | Konawe Utara |
| 19 | Wawolessea | 10 | Konawe Utara |
| 20 | Manggolo | 50 | Kolaka |
| 21 | Sampolawa | 5 | Buton |
| 22 | Kabungka | 10 | Buton |

(source; ESDM 2011)

V. Kebijakan Pemerintah

Pemerintah Indonesia telah mengesahkan kebijakan energi, di bawah Keputusan Presiden 5/2006 dan UU 30/2007. Kebijakan ini bertujuan untuk memperluas pengembangan teknologi energi terbarukan menggunakan sumber daya alam lokal untuk mendukung pembangunan berkelanjutan, untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang saat ini menjadi sumber utama devisa serta pembangunan sosial dan ekonomi dan untuk menjamin keamanan energi nasional dan kelestarian lingkungan.

Selain itu, undang-undang (UU 30/2007) juga dirancang untuk mendorong upaya pada peningkatan akses energi bagi masyarakat di daerah terpencil untuk meningkatkan taraf hidup dan kesejahteraan.

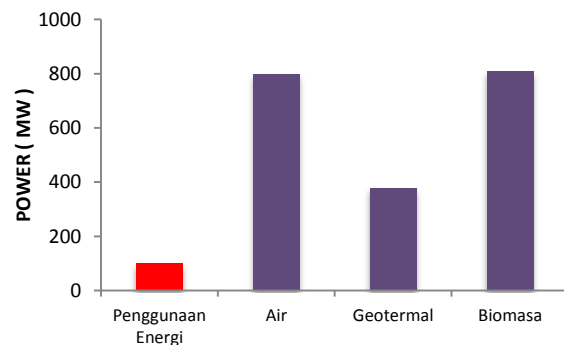
VI. Diskusi

Dari presentasi diatas sangat jelas bahwa Sulawesi Tenggara, yang merupakan salah satu daerah yang sedang berkembang di Indonesia, masih memiliki permasalahan dalam penyediaan listrik untuk masyarakat. Hal ini dapat dilihat dari rasio listrik di provinsi ini yang hanya 56%, sedikit di bawah rata-rata rasio di Indonesia (65%). Hal ini didukung oleh kondisi listrik per kapita yang jauh lebih rendah dari rata-rata di Indonesia. Selain listrik per kapita dan rasio kelistrikan yang rendah, distribusi rasio kelistrikan di antara kabupaten dan kota juga tidak sama.

Kondisi topografi dan geografi, yang didominasi oleh lahan pegunungan dan perbukitan dan beberapa pulau, tampaknya memberikan kontribusi terhadap

masalah dalam penyediaan listrik untuk masyarakat. Hal mengakibatkan sistem penyediaan kelistrikan terpusat menjadi tidak memiliki nilai ekonomi karena akan memerlukan biaya transmisi, distribusi dan pemeliharaan yang tinggi.

Kondisi ketersediaan energi nasional saat ini juga dapat menjadi salah satu faktor penghambat. Sebagaimana besar sistem pembangkit oleh PLN menggunakan energi berbasis bahan bakar fosil. Sumber tersebut jumlahnya sangat terbatas, sehingga sangat memungkinkan bahwa penyediaan energi untuk masyarakat berbasis energi ini sulit diterapkan saat ini ataupun mendatang.



Gambar 2. Listrik saat ini penggunaan dan beberapa potensi sumber daya energi terbarukan

Sulawesi Tenggara memiliki sumber daya alam yang melimpah yang dapat digunakan untuk pengembangan teknologi energi terbarukan untuk menyediakan listrik yang bersih dan terdesentralisasi. Posisi di sekitar garis khatulistiwa menguntungkan provinsi ini dalam menerima energi surya yang relatif tinggi. Selain itu, kondisi tanah pegunungan dan perbukitan, adanya banyak sungai dan vegetasi yang melimpah yang didukung oleh kondisi tropis (lokasi sekitar khatulistiwa) memungkinkan daerah ini mendapatkan sumber energi alternatif berbasis tenaga air dan biomassa. Potensi panas bumi yang tersebar di beberapa kabupaten provinsi ini, juga dapat dimanfaatkan untuk menyediakan energi yang relatif terdesentralisasi bagi masyarakat.

Gambar 2 menunjukkan perbandingan penggunaan listrik saat ini dan beberapa potensi sumber energi terbarukan di provinsi ini. Dari perbandingan ini dapat dilihat bahwa potensi sumber energi terbarukan memiliki jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan dengan penggunaan listrik saat ini. Dengan demikian, pemanfaatan sumber daya terbarukan untuk mendukung penyediaan listrik di provinsi ini adalah sangat memungkinkan. Dengan demikian, inisiatif pemanfaatan sumber terbarukan adalah sangat penting.

VII. Kesimpulan dan Rekomendasi

Makalah ini telah membahas potensi pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit listrik di Sulawesi Tenggara. Berdasarkan diskusi ini, ada beberapa kesimpulan dapat diberikan.

Sulawesi Tenggara adalah daerah yang sedang berkembang yang masih memiliki kendala dalam penyediaan listrik untuk masyarakat. Kondisi geografis-topografi daerah ini dan kondisi ketersediaan energi secara nasional saat ini tampaknya menjadi salah satu penyebab kesulitan pendistribusian listrik kepada masyarakat.

Provinsi ini memiliki potensi sumber energi terbarukan yang melimpah seperti air, biomassa surya, biogas, panas bumi, angin dan laut. Sehingga pengembangan teknologi energi terbarukan dapat menjadi salah satu solusi yang tepat dalam membantu penanganan masalah pendistribusian listrik kepada masyarakat.

Pemerintah Indonesia telah mengesahkan kebijakan yang ditujukan untuk mempromosikan energi terbarukan untuk mendukung upaya pada pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk menjamin pembangunan yang berkelanjutan. Kebijakan ini juga bertujuan untuk mendukung upaya pada peningkatan aksesibilitas listrik bagi masyarakat di daerah terpencil. Sehingga membuat kesadaran masyarakat akan pentingnya pemanfaatan sumber daya terbarukan adalah sangat diperlukan.

Peranan lembaga universitas untuk membuat kesadaran masyarakat ini sangat potensial. Hal ini disebabkan lembaga ini yang memiliki tanggung jawab dalam mentransfer pengetahuan kepada mahasiswa, dalam melakukan penelitian, dan dalam memberikan kontribusi dalam memberdayakan masyarakat. Pentingnya pemanfaatan energi terbarukan dapat dimasukkan ke dalam tanggung jawab untuk meningkatkan pengetahuan dan kesadaran mahasiswa, untuk membuat penelitian yang berkaitan dengan pengembangan energi yang terbarukan dan untuk berkontribusi dalam pengembangan masyarakat dengan memberi informasi mengenai isu disekitar energi terbarukan dan, jika mungkin, dengan menerapkan teknologi energi terbarukan hasil penelitian.

Referensi

- [1] BPS ,2011, “Profil Kemiskinan di Indonesia Maret 2011”, No. 45/07/Th. XIV, 1 Juli, 2011, available online <http://www.bps.go.id/getfile.php?news=861>
- [2] BPS,2010, “Trends of the Selected Socio-Economic Indicators of Indonesia”, November , BPS Indonesia
- [3] BPS Sultra ,2010, “Jumlah penduduk”, available online www.bps.go.id/hasilSP2010/sultra/740.pdf
- [4] BPS Sultra,2010 , “Sulawesi Tenggara in Figure 2010”, Agriculture
- [5] BPS Sultra,2010, “Sulawesi Tenggara in Figure 2010”, Industry, mining , electricity and water supply
- [6] BPS Sultra, 2010, “Hasil Sensus penduduk 2010 Data Agregat per Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Tenggara”, Konfrensi pers BRS 16 August,
- [7] BPS Sultra,2010, “Sulawesi Tenggara in Figure 2010”, Geography
- [8] BPS Sultra,2011, “Profil kemiskinan di Sulawesi Tenggara September 2011”, available online http://sultra.bps.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id=300&Itemid=2
- [9] Dasuki AS, Djamin M, Lubis AY, 2001, “The strategy of photovoltaic technology development in Indonesia”. The Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), Indonesia, *Renewable Energy*
- [10] ESDM 2010, “Indonesia Energy Statistics 2010”
- [11] ESDM,2011, “Pemerintah Akan Fokus Aliri Listrik Wilayah Timur Indonesia”, march, available online <http://www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan/4256-pemerintah-akan-fokus-aliri-listrik-wilayah-timur-indo>
- [12] ESDM Sultra ,2011, “Potensi Sungai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air”, Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral,
- [13] ESDM Sultra, 2011, “Potensi Panas Bumi, Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral”
- [14] ESDM Sultra, 2011, “Daftar Rasio Elektrifikasi dan Rasio Desa Berlistrik Provinsi Sulawesi Tenggara Desember 2011”, Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral,
- [15] ESDM Sultra,2011, “Renewable Energy Provinsi Sulawesi Tenggara”, Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral,
- [16] EIA , 2012, “Heat/Electricity in Indonesia in 2009” , available online http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?CO_UNTRY_CODE=ID
- [17] Indonesia Energy Outlook, 2010, “Bab 9 Ketenagalistrikan”,
- [18] Hayes D,2004 , “Asian Renewables South East Asia regional overview, Re-Focus”,
- [19] Kaundinya D P, Balachandra P, Ravindranath N H, 2009, “Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power”, *A review of literature. Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,

- [20] Mansur, 2011, “Rencana Penyedia Tenaga Listrik di Sulawesi Tenggara”, *Jurnal Metropilar* Vol 9 , 2/4/, p 126 – 131.
- [21] Marpaung COP, Soebagio A, Shresta RM,2007, “The role of carbon capture and storage and renewable energy for CO₂ mitigation in the Indonesian power sector”, *The 8th International Power Engineering Conference (IPEC)*
- [22] Nguyen K Q, 2007, “Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam “, *Energy Policy* 35, p 2579–2589
- [23] Partowidagdo W, 2012, “Anggapan Keliru tentang Energi di Indonesia Indonesia adalah negara yang kaya minyak, padahal tidak”, *Vivanews.com*, Januari 10, available online . <http://fokus.vivanews.com/news/read/278788-anggapan-keliru-tentang-energi-di-indonesia>
- [24] Peraturan Pemerintah, PP 5 / 2006, “Tentang Kebijakan Energi Nasional”, available online , www.presidentri.go.id/DokumenUU.php/81.pdf
- [25] Sudia B, Rachman A, Kadir A, 2011, “The assessment of solar radiation intensity in Southeast Sulawesi based on the relative position of the sun”, *Jurnal Metropilar* , Vol 9 , 2/4/, p 115 – 120
- [26] Undang Undang Republik Indonesia, UU 30/2007, Energi, 2007 available online prokum.esdm.go.id/uu/2007/uu-30-2007.pdf
- [27] Zahnd A & Kimber HM,2007, “ Benefits from a renewable energy village electrification system”, *Renewable Energy journal* homepage: www.elsevier.com/locate/renene, 2007
- [28] Zhou A & Byrne J , 2002, “Renewable Energy for Rural Sustainability: Lessons From China”, *Bulletin of Science Technology Society* 2002; 22; 123 , 2002 <http://bst.sagepub.com/cgi/content/abstract/22/2/123>
- [29] ZREU, 2000, German Energy Saving Project.

PERANCANGAN MESIN CONVEYER BELT BERBASIS PLC

Sulis Yulianto, Fadwah Maghfurah, Ery Diniardi
Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Abstrak: Kemajuan teknologi pada bidang perencanaan disain permesinan dalam dunia manufaktur pada berbagai kelompok industri sangatlah membantu dalam upaya pencapaian suatu target pada kegiatan produksi tersebut baik dari segi kuantitas, kualitas ataupun dalam upaya untuk menekan efisiensi biaya produksi, sehingga dengan mengedepankan aspek tersebut, maka dalam disain perencanaan mesin conveyer untuk pengepakan botol ini akan mengadopsi sistem otomasi berbasis PLC. Perubahan sistem kerja dari system konvensional ke system otomasi tersebut diupayakan dapat menghasilkan kegiatan produksi yang lebih ekonomis dan praktis dibandingkan dengan system konvensional yang ada saat ini. Konsep perencanaan dari mesin conveyer untuk pengepakan botol ini sangatlah sederhana dimana bertujuan untuk dapat meningkatkan kapasitas produksi serta dapat menurunkan efisiensi biaya produksi yang cukup tinggi akibat dari beban kerja dari tenaga terampil pada system konvensional, serta yang tidak kalah pentingnya adalah ketersediaan dari perlengkapan dan peralatannya tersebut mudah didapat, diantaranya yaitu PLC, hardware, system pneumatic, sensor, dan lain lain.

Kata kunci: *Conveyor belt*, PLC, *Pneumatic*, Efisiensi biaya produksi.

I. PENDAHULUAN

Mesin konveyor belt merupakan salah satu mesin yang sering digunakan dalam kegiatan produksi yang bersifat masal pada berbagai kegiatan industri baik dalam industri manufaktur, *consumer good*, ataupun diberbagai industri lainnya. Seiring kemajuan teknologi untuk dapat meningkatkan kapasitas produksi maka telah banyak perusahaan-perusahaan besar serta menengah yang telah menggunakan sistem mesin berbasis otomasi tersebut, tetapi masih banyak pula beberapa industri menengah kebawah yang juga masih menggunakan sistem konvensional. Banyak sekali keuntungan yang didapat pada suatu sistem mesin konveyor berbasis otomasi ini bila dibandingkan dengan sistem konvensional, antara lain yaitu:

1. Tidak membutuhkan tenaga yang terampil dalam pengoperasiannya hal ini dikarenakan oleh mesin yang telah diatur dengan suatu program tertentu yang tidak perlu diatur ulang.
2. Energi yang tiada batasnya atau mudah untuk mendapatkannya karena tersedia bebas.
3. Kepresisian dari pada pekerjaan lebih mudah didapat karena dalam melakukan pekerjaan tersebut mesin tidak mengenal istilah lelah.
4. Pengaturan kecepatan kerja dapat diatur sendiri bahkan melebihi dari pada kemampuan manusia sebagai operator.
5. Banyaknya ditemukan teknologi baru yang dapat menunjang dari kelancaran dan peningkatan efisiensi kerja.

Perancangan mesin conveyer berbasis PLC ini merupakan sebuah terobosan yang bisa dianggap maju dan layak untuk dikembangkan dalam hal ini dikarenakan oleh pemanfaatan dari pada sistem mekanik yang tergabung kedalam sistem otomasi,

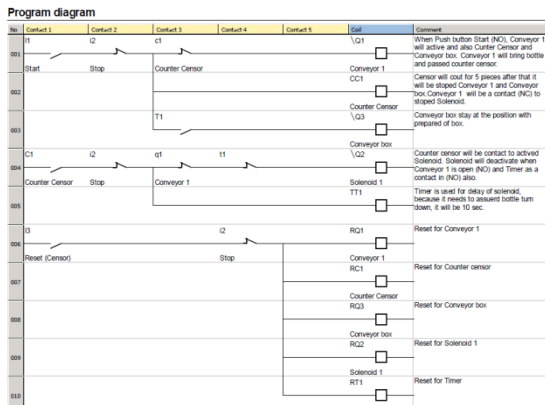
dimana sistem otomasi tersebut akan berperan penting dalam memberikan perintah atau eksekusi yang akan digunakan oleh sistem mekanik.

Maka tujuan kegiatan dari penelitian perancangan mesin konveyor belt berbasis PLC ini adalah untuk memperoleh suatu hasil rancang bangun mesin konveyor yang dapat diaplikasikan secara mudah serta memiliki nilai ekonomis serta bertujuan untuk mendapatkan peningkatan hasil produksi yang tinggi.

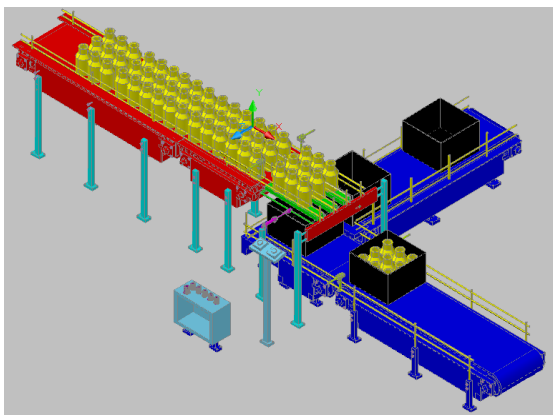
II. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan mesin konveyor ini nantinya seluruh pergerakan yang dilakukan pada seluruh system mesin akan dikontrol oleh program PLC yang telah dilakukan pemrograman terlebih dahulu seperti contohnya pada system *pneumatic* merupakan suatu gerakan mekanik yang nantinya akan dimanfaatkan penggunaannya dalam proses pengepakan botol, dimana pada sistem *pneumatic* tersebut akan menggunakan silinder dan *solenoid* yang akan membantu dalam suatu proses kerja. Silinder akan terhubung ke solenoid, dan solenoid akan terhubung ke PLC dan PLC akan mengatur gerakan silinder, dan PLC akan mengeksekusi secara terprogram sehingga kerja dari silinder dapat diatur dengan mudahnya. Begitu juga halnya dengan konveyor yang digunakan untuk membawa barang atau produk yang tentunya akan dimanfaatkan dalam proses perancangan mesin tersebut. Konveyor memiliki motor yang nantinya akan terhubung ke PLC kemudian PLC akan mengatur pergerakan dari motor pada konveyor sehingga pergerakan dari konveyor dapat diatur sesuai dengan perintah yang telah dibuat, maka dengan adanya kesatuan kerja antara PLC, *Pneumatic*, dan motor pada konveyor maka akan menciptakan suatu tatanan sistem yang

sempurna yang akan membantu dalam suatu proses kerja.



Gambar 1. Kontrol PLC



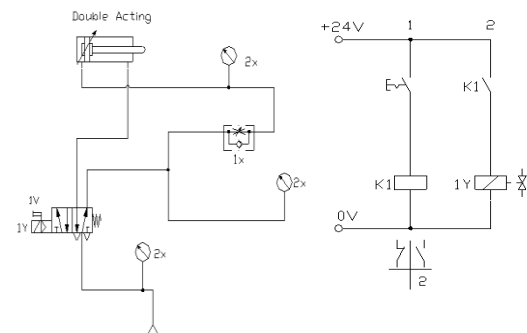
Gambar 2. Mesin konveyor pengepakan botol 1 liter berbasis PLC Pneumatic.

Disain mesin pengepakan botol ini menggunakan silinder yang terhubung ke tiga buah plat yang akan menjadi jalur dari pada botol dan sekaligus penahan botol sebelum dimasukkan ke *box* yang telah tersedia, kemudian silinder yang bergerak akan menggerakkan sebuah plat bar, dimana diatas plat bar tersebut telah terdapat botol, dengan demikian pergerakan silinder yang keluar masuk akan menyebabkan plat berubah posisi sehingga botol terjatuh dan memasuki *box*. Sensor yang terdapat pada mesin tersebut akan berfungsi *counter* dan tombol reset dimana *counter* tersebut yaitu sebagai penghitung banyaknya botol yang melewati *box* dan berada posisi yang diinginkan. Pada perancangan ini jumlah botol yang dihitung sebanyak 3x melewati sensor maka sensor akan memberikan perintah selanjutnya untuk menjalankan proses yang lain, sehingga *conveyor* akan membawa botol tersebut melewati sensor dan setelah itu akan membawa kepada proses yang lain.

Berikut ini adalah cara kerja dari pada program PLC tersebut :

1. Ketika tombol Start ditekan, maka akan mengaktifkan *conveyor 1* (pembawa botol), sensor penghitung, dan juga *conveyor* pembawa *box*. *Conveyor 1* akan membawa botol dan melalui sensor penghitung (*counter sensor*) dan memindahkan botol kepada posisi yang diinginkan.
2. *Conveyor 1* yang membawa botol tersebut akan melewati sensor *counter*, dimana pada proses ini *conveyor 1* akan terus bergerak dan membawa botol dan melewati sensor *counter* sebanyak 5 kali.
3. Pada saat itu *conveyor box* dalam keadaan diam dan *box* telah berada pada posisi yang diinginkan.
4. Jika botol telah melewati sensor *counter* sebanyak 5 kali, maka sensor tersebut akan mengaktifkan solenoid yang akan memberikan perintah eksekusi pada silinder sehingga silinder akan bergerak atau berubah posisi. Hal ini akan membuat plat tersebut ikut bergerak dan berpindah posisi sehingga akan menyebabkan botol jatuh ke dalam *box* yang telah disediakan.
5. Pada saat yang bersamaan *timer* akan berfungsi untuk menahan pergerakan solenoid beberapa saat. Pada perancangan ini solenoid akan diam untuk 1 sec, yang berfungsi agar botol tepat jatuh pada *box*.
6. Setelah *timer* berjalan selama 1 sec, maka *timer* tersebut akan mengaktifkan *conveyor box* yang telah berisi botol dan melewati sebuah sensor reset.
7. *Box* yang dibawa oleh *conveyor* tersebut akan mengaktifkan sensor reset, dimana sensor ini akan berfungsi untuk mereset (mengatur ulang) semua program untuk kembali ke awal atau kelangkah kerja semula.

Penjelasan di atas merupakan eksekusi atau perintah pada PLC yang telah dibuat dan semua langkah kerja tersebut akan bekerja secara *scanning* dan berurutan terhadap *conveyor*, sensor, dan *timer*. Karena pada mesin ini menggunakan *pneumatic* sebagai salah satu *actuator* dalam mesin ini, maka berikut ini adalah instrument dari *pneumatic* tersebut :

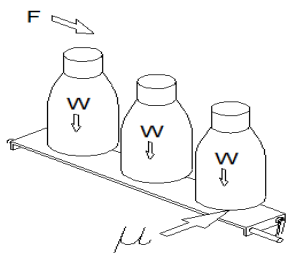


Gambar 3. Instrument pneumatic & electrical solenoid

Dalam perhitungan perencanaan mesin pengepakan ini, analisis perhitungan sangat perlu dilakukan karena tanpa adanya analisis dari komponen-komponen mesin yang akan menerima beban gaya, maka mesin tersebut belum dikatakan siap untuk dibuat atau diproduksi, maka dalam perencanaan awal ini akan dilakukan analisis perhitungan terhadap beberapa komponen mesin diantaranya yaitu kecepatan langkah piston, luas penampang piston dimana perhitungan tersebut untuk mendapatkan debit udara yang dibutuhkan perdetiknya dimana hal ini berguna untuk pemilihan kompresor yang digunakan dalam perencanaan, serta perhitungan nilai koefisien gesekan plastik dengan konveyor

Tabel 1. Koefisien gesekan

| | |
|--|------------|
| Chain Sliding on Steel Track - unlubricated | 0,3 - 0,2 |
| Chain Sliding on Steel track - lubricated | - 0,2 |
| Chain Sliding on Hard Wood | - 0,2 |
| Chain Sliding on Plastic Wear Strips | 0,2 - 0,3 |
| Chain Sliding on Ultra High Molecular Polyethylene | 0,15 - 0,2 |



Gambar 5. Koefisien gesekan plastik dengan conveyor

Gambar diatas merupakan penjelasan, dimana botol seberat (W) dibawa oleh conveyor dan ditahan oleh plat penahan sehingga botol akan berhenti dan akan mengalami gesekan dengan conveyor sebesar (μ).

Gaya piston yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen perapat. Berikut ini adalah gaya piston silinder dari berbagai ukuran pada tekanan 1 – 10 bar.

Tabel 2. Gaya piston

| Diameter Piston (mm) | Tekanan Kerja (bar) | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 6 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 16 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 25 | 4 | 9 | 13 | 17 | 21 | 24 | 30 | 34 | 38 | 42 |
| 35 | 8 | 17 | 26 | 35 | 43 | 52 | 61 | 70 | 78 | 86 |
| 40 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 | 84 | 96 | 108 | 120 |
| 50 | 17 | 35 | 53 | 71 | 88 | 106 | 124 | 142 | 159 | 176 |
| 70 | 34 | 69 | 104 | 139 | 173 | 208 | 243 | 278 | 312 | 346 |
| 100 | 70 | 141 | 212 | 283 | 353 | 424 | 495 | 566 | 636 | 706 |
| 140 | 138 | 277 | 416 | 555 | 693 | 832 | 971 | 1110 | 1248 | 1386 |
| 200 | 283 | 566 | 850 | 1133 | 1416 | 1700 | 1983 | 2266 | 2550 | 2832 |
| 250 | 433 | 866 | 1300 | 1733 | 2166 | 2600 | 3033 | 3466 | 3800 | 4332 |

Silinder ini berfungsi untuk menahan botol pada jalur yang sudah ditentukan, hal ini dilakukan karena konveyor yang tetap berjalan akan membuat botol terus bergerak melewati jalur yang telah dipersiapkan sekaligus untuk melewati sensor counter, maka oleh sebab itu diperlukan suatu mekanisme tambahan untuk menahan botol agar dapat bergerak pada tempat yang sudah ditentukan, adapun spesifikasi silinder yang digunakan:

- Diameter piston (D) = 60 mm
- Diameter batang piston (d) = 10 mm
- Panjang langkah = 100 mm
- Waktu 1x silinder keluar = 1 dtk

Sehingga pada perencanaan analisa perhitungan ini didapatkan nilai perencanaan untuk setiap elemen mesin konveyor tersebut antara lain yaitu gaya yang diberikan oleh botol kepada silinder sebesar 63,765 N, kemudian untuk hasil perhitungan tekanan udara minimal kompresor yang diberikan kepada tiga buah silinder adalah sebesar 0,6768 bar sehingga tekanan udara minimal yang dibutuhkan dalam direncanakan ini adalah sebesar 1 bar.

III. HASIL PERANCANGAN

Berdasarkan atas waktu kerja silinder, PLC, dan motor penggerak pada satu kali proses pengepakan botol, maka dapat diperhitungkan nilai estimasi kapasitas produksi mesin konveyor tersebut dalam melakukan satu kali kerja adalah sebagai berikut:

- Silinder kerja butuh waktu satu kali kerja= 2 dtk
- PLC, motor penggerak conveyor dan box = 5 dtk

Maka jumlah waktu kerja keseluruhan tiap box dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$(W_{\text{kes}}) = \text{PLC} + \text{motor} + \text{silinder} = 7 \text{ s/box.} \quad (1)$$

Berdasarkan perencanaan di atas maka cycle time (Ct) satu kali proses kerja pengepakan dalam waktu 1 menit dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Ct = \frac{60 \text{ s}}{Wt(\text{kes})} \quad (2)$$

Dimana:

Ct = cycle time

Wt (kes) = Waktu kerja keseluruhan (s)

Maka berdasarkan atas persamaan (2) kapasitas pengepakan botol dalam waktu 1 jam kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$n = \frac{3600 \text{ s}}{Ct} \quad (3)$$

Dimana:

n = Jumlah box

Ct = Cycle time

Sehingga dengan persamaan (3) maka estimasi jumlah hasil produksi selama 8 jam perhari diperhitungkan seperti terlihat pada table 3 dibawah.

Tabel 3. Kapasitas pengepakan perhari (8jam kerja) dengan system otomasi.

| No | Waktu Kerja (jam) | Hasil Pengepakan (box) |
|----|-------------------|------------------------|
| 1 | 1 | 424 |
| 2 | 2 | 847 |
| 3 | 3 | 1271 |
| 4 | 4 | 1694 |
| 5 | 5 | 2118 |
| 6 | 6 | 2541 |
| 7 | 7 | 2965 |
| 8 | 8 | 3388 |

Sedangkan untuk hasil pengepakan secara konvensional dari hasil penelitian didapatkan nilai rata-rata hasil poduksi tiap box secara adalah sebesar 13,9 detik, maka untuk tiap jamnya dapat menghasilkan sebesar 259 box sehingga untuk produksi selama 8 jam perhari dapat dilihat pada tabel berikut.

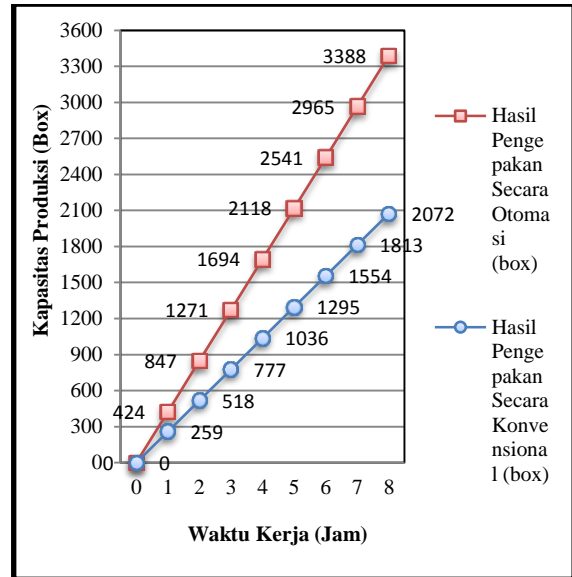
Tabel 4. Kapasitas pengepakan perhari (8jam kerja) secara konvensional.

| No | Waktu Kerja (jam) | Hasil Pengepakan (box) |
|----|-------------------|------------------------|
| 1 | 1 | 259 |
| 2 | 2 | 518 |
| 3 | 3 | 777 |
| 4 | 4 | 1036 |
| 5 | 5 | 1295 |
| 6 | 6 | 1554 |
| 7 | 7 | 1813 |
| 8 | 8 | 2072 |

IV. PEMBAHASAN

Hasil data-data diatas dapat dilihat pada gambar (6), dimana gambar grafik tersebut adalah hasil perbandingan antara penggunaan sistem otomasi dengan system konvensional pada proses pengepakan botol 1 liter.

Hal ini bertujuan untuk memilih sistem pengepakan yang terbaik dalam sebuah produksi khususnya pengepakan botol ini. Karena dalam menentukan sebuah proses kerja yang tepat dan efisien harus dilihat dari banayk segi, tidak hanya dari biaya yang dikeluarkan ataupun hasil produksi yang tercapai tetapi juga dilihat dari segi efisiensi jumlah jam kerja yang mampu dilaksanakan dalam memproduksi sebuah produk.



Gambar 6. Perbandingan Pengepakan Secara Otomasi dan Konvensional

Dari hasil perbandingan grafik tersebut diatas, bahwa sistem otomasi berbasis PLC pada tiap jamnya akan menghasilkan kelipatan jumlah produksi tetap bila dibandingkan dengan mesin *konveyort belt* yang menggunakan system konvensional dimana hasil produksi yang dihasilkan masih jauh dibandingkan dengan system otomasi, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa mesin konveyor belt yang berbasis otomasi masih jauh lebih baik dibandingkan dengan system konvensional khususnya untuk kegiatan produksi yang bersifat masal, dimana suatu system mesin yang menggunakan system berbasis otomasi memiliki kemampuan yang tidak terbatas sehingga sasaran dari hasil produksi dapat tercapai.

V. KESIMPULAN.

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari pembahasan ini adalah:

- Mesin konveyor belt yang memakai system otomasi berbasis PLC sangatlah berpengaruh terhadap kinerja hasil produksi khususnya kegiatan produksi yang bersifat masal, dimana pada kosep perencanaan perancangan ini terjadi kenaikan hasil produksi sebesar 61 % bila dibandingkan system konvensional pada tiap jamnya.
- Efisiensi biaya produksi akibat tinggi operasional produksi dapat ditekan, karena system otomasi ini sudah terintegrasi antara komponen mesin satu dengan yang lainnya, sehingga cukup dilakukan dengan satu kali perintah kerja dan dapat dilakukan seting ulang terhadap kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sularso, dan Kiyokatsy Suga, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Pradnya Paramita, Jakarta, cetakan kesepuluh, 1997.
2. Sularso, MSME, & Haruo Tahara, Pompa & Kompresor, Erlangga, Jakarta, edisi keenam, 1995.
3. Khurmi, R.s Gupta, J.K, A Text Book Of Machine Design, Eurashia publishing House (P,vt) LTD, New Delhi, Third Edition, 1982

THE CONSTRAINT OF INTRODUCTION OF NUCLEAR POWER PLANT IN INDONESIA

Tjipta Suhaemi
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
JAKARTA

ABSTRACT

THE CONSTRAINT OF INTRODUCTION OF NUCLEAR POWER PLANT IN INDONESIA. *Indonesia has planned to build nuclear power plants. Some feasibility studies has been conducted intensively, but the process of NPP introduction went into unclear situation. National Energy Plan in Indonesia which had been made by some governmental agencies did not yet give positive impact to an issuance of government decision to construct the nuclear power plant (NPP). This paper discusses the process of NPP introduction in Indonesia, which has been coloured with debate of stakeholder and delayed decision to go nuclear. Technological paradigm to promote NPP as an alternative of energy resources is reliable. Technological paradigm should be complemented with political international economic view point. International political economy viewpoint showed that structural powers, which consisted of security, production, finance, and knowledge structures, within which the NPP introduction operated, had dynamical character. The process of NPP introduction in Indonesia contains some infrastructure developments (R & D, regulation, energy planning, site study, and public acceptance efforts), but they need a better coherent NPP implementation programme and NPP Acceptance Programme. A strategic pattern for NPP introduction described in this paper are made with consideration regarding nuclear regulation development and in the interest of basic domestic participation. The first NPP programme in Indonesia bearing proven technology and basic domestic participation is an important milestone toward an optimal national energy-mix.*

Keywords : constraint, introduction, management, nuclear power plant, stakeholder

1. PENDAHULUAN

Keinginan untuk memiliki dan mengoperasikan PLTN sudah ada dalam usulan dari beberapa perguruan tinggi pada akhir tahun 1950-an, antara lain dari FIPIA UI di Bandung dan FIPA UGM di Yogyakarta. Kemungkinan pembangunan PLTN di Indonesia juga disebut-sebut pada seminar kelistrikan yang diselenggarakan oleh ITB pada tahun 1960 dan 1962, seminar kelistrikan yang diselenggarakan oleh ITB pada tahun 1968 yang diselenggarakan bersama oleh BATAN dan Departemen PUTL. Pada akhir tahun 1977 pemerintah Italia menawarkan kerjasama dengan pemerintah Indonesia berupa studi kelayakan untuk PLTN pertama. Kemudian sesuai dengan Keputusan Badan Koordinasi Energi Nasional, (BAKOREN) tahun 1989 yang memutuskan pelaksanaan studi tapak dan studi kelayakan (STSK) PLTN. Tahun 1997 hasil studi dilaporkan kepada Pemerintah yang menyebutkan bahwa PLTN siap dibangun dan dijadualkan dapat beroperasi tahun 2004. Dengan

situasi politik yang tidak kondusif dan masih dalam situasi krisis moneter, rencana pembangunan PLTN ditunda. (BATAN, 1996; Tjipta, 2007)

Dalam tahun-tahun terakhir dirasakan adanya krisis energi dan listrik di Indonesia, sehingga Indonesia dinilai sudah saatnya memiliki PLTN, guna memenuhi energi listrik yang terus meningkat,

sekaligus mencegah terjadinya krisis energi nasional. Dalam rangka menyongsong pembangunan PLTN, pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 5 Tahun 2006, tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) sebagai pedoman dalam pengelolaan energi nasional. KEN sebagai acuan upaya mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri dengan menetapkan sasaran bauran energi (*energy mix*) yang optimal pada tahun 2025, dan kontribusi energi baru dan terbarukan lainnya lebih besar dari 17%. Khusus untuk energi biomassa, nuklir, tenaga air, dan tenaga surya, dan tenaga angin sebagai bagian dari EBT menjadi lebih dari 5%. (Dep. ESDM, 2006)

Penerimaan PLTN di Indonesia mengalami hambatan sosial dari masyarakat yang mengidentikkan energi nuklir dengan bom atom tidak sepenuhnya dapat dieliminir terutama pada masyarakat yang skeptis dan berpengetahuan nuklir minim. Namun sampai saat ini tenaga nuklir belum sepenuhnya dapat diterima oleh masyarakat, termasuk di dalamnya para akademisi, tokoh agama dan tokoh masyarakat. Berbagai pendapat yang kontra masih sering muncul dan demonstrasi anti PLTN sering digelar.

Makalah ini membahas eliminasi resiko sosial politik dari pembangunan PLTN di Indonesia. Di samping persoalan sosial ekonomi PLTN seperti yang dibahas pada studi kelayakan, persoalan sosial politik pembangunan PLTN juga memerlukan penyelesaian.

2. METODOLOGI

Metoda yang digunakan adalah mengkaji dan menganalisis informasi dan laporan dan kajian pustaka. Analisis kebijakan dan regulasi yang terkait dengan pembangunan PLTN dilakukan untuk memenuhi pengembangan infrastruktur nasional menurut petunjuk dan langkah-langkah yang disarankan IAEA. Digunakan teori politik ekonomi internasional dalam menjelaskan peran pemangku kepentingan dan program yang diperlukan untuk sukseskan strategi pemasyarakatan PLTN di Indonesia.

3. MASALAH PEMBANGUNAN PLTN

3.1. Keselamatan Nuklir

Sebagai pembangkit listrik yang berukuran besar, PLTN juga memiliki standar yang tinggi. Harapan keselamatan nuklir sekarang telah berkembang menjadi harapan keselamatan, keandalan, dan ekonomi. Keselamatan nuklir sekarang menyangkut ketangguhan rancangan keselamatan sistem dan komponen yang andal, *operator friendly*, maupun kinerja operasi daya yang ditingkatkan.

Segi ekonomi PLTN meliputi biaya energi yang kompetitif, biaya operasi, resiko investasi yang dapat diterima investor. Segi ekonomi PLTN juga dikaitkan dengan ekonomi nasional. Dalam program jangka panjang diharapkan terbentuknya partisipasi nasional yang semakin meningkat.

3.2. Masalah Pembangunan PLTN

Masalah pembangunan PLTN di Indonesia meliputi beberapa aspek, yaitu :

1. Aspek finansial, yaitu bagaimana menghimpun dana pembangunan yang sangat besar.
2. Masalah keamanan meliputi antara lain masalah jaminan keamanan mulai tahap penyediaan lokasi, konstruksi, sampai operasi.
3. Masalah subsistem produksi menyangkut pengadaan komponen PLTN yang dapat menjamin kelancaran operasi, pemeliharaan, dan dalam jangka panjang kesiapan partisipasi domestik dalam mendukung program PLTN.
4. Masalah subsistem pengetahuan menyangkut kesiapan perundangan, pengambil keputusan, perencana, regulator, manajemen, peneliti dalam mensukseskan pembangunan sehingga PLTN memiliki daya guna optimal, aman, kompetitif dan dibangun dengan memperhatikan lingkungan.

3.3. Peran dan pencapaian lembaga nuklir di Indonesia.

Menyongsong dibangunnya PLTN, Indonesia sudah sejak lama mempunyai lembaga dan aturan-aturan yang kesemuanya mengacu kepada standar

dan pedoman IAEA. Dari Undang-Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dapat diketahui bahwa dalam pemanfaatan tenaga nuklir untuk kepentingan damai ada beberapa lembaga yang terkait, yaitu BATAN dan BAPETEN. BATAN mempunyai tugas dalam bidang penelitian dan pengembangan dan pemanfaatan energi nuklir. BAPETEN berfungsi untuk melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan energi nuklir. Instansi yang terkait dengan pembangunan PLTN, antara lain : PT PLN yang berwenang menjual/ mendistribusikan listrik, Menteri Lingkungan Hidup terkait dengan analisis dampak lingkungan, Pemerintah Daerah terkait dengan dampak sosial budaya.

Untuk memperhatikan aspirasi yang berkembang di masyarakat dalam pemanfaatan energi nuklir, pemerintah sebelum mengambil keputusan perlu membicarakannya terlebih dahulu dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia.

Untuk kepentingan penggunaan energi nuklir di Indonesia, telah disiapkan Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Keputusan Presiden, Keputusan Kepala BAPETEN, Petunjuk Pelaksanaan, Petunjuk Teknis, dalam hal yang terkait dengan pemanfaatan energi nuklir di Indonesia, yang kesemuanya mengacu kepada standar IAEA dan pengalaman negara lain dalam mengelola PLTN.

3.3. Peran Pemangku kepentingan (*Stakeholder*) dan Strategi Pemasyarakatan

Beberapa tahun terakhir ini khususnya setelah jatuhnya pemerintahan Orde Baru demonstrasi anti PLTN terjadi, baik dari kalangan LSM maupun penduduk di sekitar lokasi (*site*). Jaringan ini menolak pembangunan PLTN dengan alasan ideologi anti radiasi nuklir dan juga alasan-alasan kultural. Di satu sisi demonstrasi-demonstrasi ini menunjukkan adanya ideologi anti PLTN tetapi di sisi lain menunjukkan faktor terlibatnya tokoh-tokoh lokal, seperti tokoh politik dan pengusaha dalam urusan PLTN.

Relevansi dari keterlibatan *stakeholder* dapat dilihat dari segi pengawasan publik terhadap lembaga negara dan badan pengaturan nuklir yang pada akhirnya meningkatkan motivasi pejabat untuk memenuhi tanggung jawab dalam pengaturan dan pengawasan. Juga keterlibatan *stakeholder* terhadap kesuksesan operator PLTN untuk menyesuaikan operasi dengan hukum dan peraturan yang berlaku. Dengan demikian komunikasi yang baik dengan para *stakeholder* harus mencirikan keinginan untuk menerapkan interaksi dua arah yang konstruktif.

Suatu kesempatan bagi *stakeholder* sesuai jadwal untuk memberikan masukan dapat berguna bagi proses pengambilan keputusan dan kesuksesan proyek. Isu yang terjadi beragam tetapi yang paling

utama adalah menyangkut keselamatan nuklir, keselamatan lingkungan, limbah nuklir, partisipasi domestik dan ketahanan bahan bakar. Pendekatan politik ekonomi internasional membagi kedalam empat sektor manajemen masyarakatan PLTN, yaitu keamanan, produksi, finansial, dan iptek. Program pembangunan PLTN dapat mengambil manfaat dari pendekatan ini dengan cara membangun badan dan legislasi yang sesuai maupun strategi serta teknis masyarakatan PLTN yang efektif. Strategi ini melibatkan beberapa pokok, yaitu : dengan membentuk tim nasional masyarakatan, pemanfaatan pusat (*centre*) dengan sosial/lembaga sosial, komunikasi sosial yang efektif.

Strategi Masyarakatan PLTN melengkapi Perencanaan dan Strategi PLTN. Strategi ini memiliki peran memperkuat perencanaan pengembangan PLTN dalam isu-isu sensitif seperti keselamatan reaktor dan lingkungan, penanganan limbah dan penutupan instalasi nuklir. Jika isu-isu ini memerlukan penguasaan ilmu-ilmu nuklir, maka substruktur kekuasaan struktural pengetahuan dapat memberikan otoritas atau mendelegasikan komunikasi pengetahuan nuklir yang diperlukan dalam pembangunan PLTN dan dampaknya kepada asosiasi nuklir Indonesia ataupun lembaga nuklir nasional ataupun asosiasi profesi lainnya yang berhubungan dengan asosiasi nuklir. Di antara program masyarakatan adalah :

- Penyusunan jadwal dialog antar *stakeholder*.
- Penentuan agen-agen masyarakatan berwawasan sosio-teknologi-ekonomi.
- Dukungan kebijakan pemerintah
- Dukungan asosiasi insinyur, nuklir, dan dokter
- Penyiapan *data base* penyuluhan.

Program Strategi Implementasi berupa :

- Penguatan R & D
- Partisipasi domestik minimal
- Regulasi
- Penyiapan lembaga manajemen

Bila perencanaan pembangunan PLTN diterima, dilakukan program :

- Penyiapan sumber daya
- Penyiapan proyek
- Penyiapan regulasi & persiapan domestik

3.4 Infrastruktur Nasional

Pengembangan bidang nuklir merupakan program jangka panjang dan berkelanjutan, sehingga pembangunan PLTN harus direncanakan dan disiapkan dengan sebaik-baiknya secara matang dan sungguh-sungguh dengan melibatkan semua instansi yang terkait. Diperlukan komitmen nasional dan kehendak politik yang kuat dan didukung oleh semua lapisan masyarakat terhadap pentingnya pembangunan PLTN di Indonesia. Harus diupayakan sinergi antara instansi yang terkait dengan semua program pengembangan PLTN.

Paradigma teknologi yang berlaku memunculkan aplikasi PLTN sebagai teknologi energi alternatif yang juga andal. Paradigma ini tidaklah cukup untuk menjamin adanya strategi implementasi program PLTN maupun program penerimaan PLTN yang andal berhubung tidak adanya kejelasan mengenai konteks sosio-politik yang melibatkan pelaku dan struktur kekuasaan. Paradigma teknologi harus disertai dengan pendekatan politik ekonomi. Pendekatan politik ekonomi internasional menyatakan bahwa kekuatan struktural yang bersumber dari sektor keamanan, produksi, keuangan dan pengetahuan, dimana introduksi PLTN merupakan bagiannya bersifat dinamis.(Russel, 1995).

Struktur yang ditentukan oleh praktek dan saling pengertian di antara pelaku menentukan kekuatan dan *interest* di antara pelaku-pelaku perubahan. Interaksi di antara pelaku-pelaku dan cara introduksi PLTN, proyek *turnkey* atau lainnya, dipengaruhi dengan kuat oleh kekuatan struktural. IAEA telah mengantisipasi situasi politik seperti ini dan telah menerbitkan panduan mengenai keterlibatan *stakeholder* dalam isu nuklir. Panduan ini menyatakan beberapa isu mengenai partisipasi *stakeholder* dalam beberapa aspek seperti perencanaan energi nasional, pengembangan legislasi dan regulasi nuklir, instalasi nuklir, perencanaan darurat nuklir, keselamatan lingkungan, manajemen limbah nuklir, dsb. (IAEA, 2006)

Pendekatan politik ekonomi internasional menunjukkan perlunya diciptakan humas (*public relation*) yang berwawasan sosio-teknologi-ekonomi maupun pelaku pembangunan dari kalangan R & D, industri dan regulasi. Dalam interaksinya dengan lingkungan pelaku-pelaku ini perlu disertai dengan *data-base* yang akurat dan proporsional. Pendekatan politik ekonomi internasional menunjukkan betapa pentingnya penanganan di sektor keamanan (seperti masalah jaminan baik bagi investor maupun penduduk lokal), di sektor produksi (seperti masalah partisipasi domestik baik minimum maupun optimum), di sektor iptek (seperti kontroversi PLTN dengan bom atom, rancangan optimal PLTN, rancangan keselamatan), maupun di sektor keuangan. Pelaku-pelaku ini juga memerlukan kebijakan pemerintah yang kondusif maupun dukungan asosiasi insinyur dan asosiasi nuklir Indonesia. (Syaukat, 2008)

Saat ini program masyarakatan PLTN di Indonesia dalam mempromosikan PLTN belum optimal. Strategi masyarakatan adalah bagian dari strategi pembangunan PLTN yang berawal dari perencanaan energi nasional yang disetujui oleh berbagai *stakeholder*, perencanaan pembangunan PLTN, strategi implementasi program pembangunan,

penyiapan SDM dan program masyarakatan itu sendiri.

Ada beberapa kegiatan dalam program PLTN yang harus diambil oleh organisasi nasional dan ditangani oleh SDM dalam negeri, tanpa memandang bentuk kontrak pengadaan PLTN. Kegiatan pokok ini meliputi baik kegiatan program/manajemen maupun kegiatan pekerjaan teknik. Termasuk kedalam kegiatan program/manajemen dan kebijakan nuklir adalah perencanaan, koordinasi dan pengendalian program PLTN, pengembangan program SDM, regulasi dan lisensing nuklir serta kebijakan QA, perencanaan darurat nuklir serta informasi dan hubungan masyarakat. Sedangkan yang termasuk ke dalam kegiatan teknik yaitu *safeguard* dan proteksi fisik, penyiapan tapak (*site*), kegiatan sipil seperti ereksi bangunan dan struktur, instalasi peralatan, operasi dan pemeliharaan fasilitas proteksi radiologi dan survei lingkungan, manajemen dan penyimpanan elemen bakar di komplek serta transportasi dan penyimpanan *off site* dan manajemen limbah.

Kesuksesan Program pembangunan PLTN pertama yang berciri *proven technology* serta dibangun dengan partisipasi dasar domestik sangatlah menentukan program bauran energi yang optimal, di satu sisi program ini merupakan awal usaha nasional, di sisi lain program ini yang disertai dengan strategi partisipasi domestik merupakan basis dari laju perkembangan teknologi PLTN, termasuk pengembangan SDM nuklir. Kriteria PLTN pertama yang dibangun haruslah yang telah teruji keandalan dan keselamatannya, serta pengalaman digunakan oleh banyak negara dan ekonomi yang menjanjikan. Kesalahan dalam pemilihan jenis PLTN yang akan dibangun tentu tidak akan memberikan banyak manfaat bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat, karena selalu akan tergantung terus dengan pihak pemasok PLTN. Pembangunan PLTN pertama apakah secara *turn key project* ataupun *build operation and transfer* (BOT) tidak menjadi masalah. Yang penting untuk pembangunan PLTN ke 2, ke 3, dan seterusnya, partisipasi nasional dalam pembangunan semakin meningkat, dan di satu saat Indonesia diharapkan tidak lagi tergantung dari negara luar.

Bagi Indonesia untuk membangun PLTN ini dirasakan adanya kendala dalam pembiayaan, sehingga mengharapkan adanya investor asing maupun pihak swasta yang mau menanamkan modalnya. Tergantung skema pendanaan maka opsi pembangunan PLTN bisa berbentuk BOO (Build-Own-Operate), BOT (Build Own Transfer), atau lainnya. Manajemen PLTN bisa pemerintah, swasta atau operasi.

4. KESIMPULAN

Strategi masyarakatan adalah bagian dari strategi pembangunan PLTN yang berawal dari

perencanaan energi nasional yang disetujui oleh berbagai *stakeholder*, perencanaan pembangunan PLTN, strategi implementasi program pembangunan, penyiapan SDM dan program masyarakatan itu sendiri. Proses introduksi nuklir di Indonesia diwarnai dengan perdebatan di antara pemangku kepentingan serta berlarut-larutnya proses keputusan pembangunan PLTN. Masalah perencanaan dan persiapan program PLTN memerlukan penyelesaian dengan kontribusi yang memadai dari semua pihak yang terlibat. Dari sisi program masyarakatan PLTN di Indonesia dalam mempromosikan PLTN belum optimal. Proses introduksi PLTN memerlukan koordinasi nasional yang lebih baik yang menjamin strategi implementasi program PLTN serta program Penerimaan PLTN yang koheren. Peran partisipasi domestik diharapkan mampu berkembang dalam program jangka panjang PLTN. Selain itu strategi masyarakatan PLTN harus dilakukan dengan memperhatikan perkembangan di bidang regulasi nuklir serta kepentingan partisipasi dasar domestik.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, 1996, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir dan Rencana Pembangunannya di Indonesia, Jakarta.
2. Dep. ESDM, 2006, *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005/2025*, Departemen ESDM, Jakarta.
3. IAEA, 2006, *Stakeholder Involvement in Nuclear Issues*, INSAG-20, IAEA, Vienna.
4. Peraturan Presiden RI No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.
5. Russel, A., 1995, *Merging Technological Paradidms and the Knowledge Structure in International Political Economy*, Science and Public Policy.
6. Suhaemi, T., 2007, Evolusi Teknologi PLTN CANDU dan Prospeknya di Indonesia, BATAN, Jakarta..
7. Syaikat, A., 2008, Suhaemi, T., *Strarata SDM Untuk Industri Nuklir di Indonesia dengan Pertumbuhan Tekno-Ekonomi*, STTN, Yogyakarta..
8. UU RI No.10 Tahun 1997 tentang Energi Nuklir.

**Evaluasi Resiko *Overpressure* Ketel Uap pada Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap
di Pabrik Gula Kebon Agung, Malang, Jawa Timur
(*Risk Assessment on Boiler Overpressure of Steam Generator Power Plant in Kebon
Agung Sugar Cane Factory, Malang, East Java*)**

Wahyunanto Agung Nugroho
Jurusan keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran No 1, Malang, Jawa Timur. 65145
Telp. (0341) 571708, Fax. (0341) 571708.
E-mail: wahyunanto@ub.ac.id

ABSTRACT

Sugar processing industry requires a large amount of electricity supply with duration of up to 24 hours usage per day. In meeting its electricity needs, Kebon Agung Sugar Factory (PG Kebon Agung) has its own steam power plant. The fuel used is bagasse. With a boiler capacity is up to 80 tons, the risk of fraud will also high. Hence, it is important to evaluate the risk of fatality of this power plant. The purpose of this study is to estimate the risk of the major accident during the boiler operation, with emphasizes on the probability of an explosion of the steam generator during the operation.

Research was conducted at PG Kebon Agung. The method for estimating the risk was using HazOp, with emphasizes on the hazard and frequency analysis. For this purposes, the research consisted of two parts, i.e. analyzing hazards and frequency. The research is devoted to the steam generator power plant operation. In analyzing hazard, the research focused on one IDF valve and two main sensor (temperature and pressure) at 15 points of study, namely: Upper Drum, Super Heater, Air Heater Inlet, Burner Box, Under Grate, Chomb Chamber, Boiler Outlet, Dust Collector, Boiler Outlet Gas, Air Heater Outlet (Gas), Air Heater Outlet (Air), Air Heater Outlet (Steam), Boiler Water Inlet, Fuel Oil and Boiler Inlet Oil. The hazard analysis shown that there were three main points of hazards source, i.e. boiler water inlet, burner box and steam outlet. It was also detected 7 points of hazards that could trigger these 3 main hazards, i.e. Upper Drum, Super Heater, Air Heater Inlet, Under Grate, Chomb Chamber, Air Heater Outlet (Air) and IDF valve. The result of frequency analysis shown that the probability of steam boiler failure that lead to the steam overpressure was 0.11/year.

Kata Kunci : risk assessment, steam power plant, sugar Factory

PENDAHULUAN

Gerakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja mulai dicanangkan secara nasional pada tahun 1984, dimana pada saat itu telah bermunculan pengelolaan kegiatan ekonomi yang relatif baru di Indonesia. Sebagai langkah awal, pada tahun 1970, pemerintah telah mengeluarkan Undang-Undang (UU) No. 1 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3) yang meliputi seluruh aspek pekerjaan disegala bidang kerja baik di darat, dalam air, permukaan air, dalam tanah maupun udara yang berada dalam wilayah kekuasaan hukum Republik Indonesia. UU tersebut lahir sebagai akibat kian meningkatnya angka kecelakaan kerja baik instansi swasta maupun BUMN. Sebagai subyek dari pencaanangan kegiatan tersebut adalah manusia sebagai pekerja, sebagai manajer maupun sebagai pemilik perusahaan. Untuk dapat menanggulangi semua risiko yang mungkin terjadi, diperlukan sebuah proses yang dinamakan sebagai manajemen risiko. Manajemen risiko merupakan pengenalan, pengukuran, dan perlakuan terhadap kerugian dari kemungkinan kecelakaan yang muncul (Bowden, 2001).

Risk Assessment (Evaluasi Risiko) merupakan bagian dari kegiatan proses manajemen risiko yang meliputi pengertian kuantitatif dan kualitatif rinci tentang risiko fisik, sosial, ekonomi, lingkungan dan konsekuensi. Juga merupakan hal yang paling pertama dipertimbangkan secara serius dari strategi pengurangan bencana Susanto (2002). Risiko adalah kemungkinan atau kecenderungan suatu peristiwa akan memiliki efek yang merugikan, secara langsung maupun tidak langsung, kepada kesehatan dan kesejahteraan manusia. (Gozan, 2009). Bahaya (*hazard*) adalah suatu keadaan yang bersifat kualitatif yang mempunyai pengaruh terhadap frekuensi kemungkinan terjadinya kerugian ataupun besarnya jumlah dari kerugian yang mungkin terjadi. Bahaya tersebut bisa berasal dari kejadian atau penyimpangan proses fisika, kimia, biologi maupun radioaktif yang efeknya bisa sangat merugikan bagi penderita. Bahaya dapat diperkecil dengan memperhatikan faktor-faktor terjadinya, meminimalisir ancaman dan risiko-risiko (Costello, 2004). Frekuensi dan kerusakan menunjukkan beratnya keadaan bahaya, keterancaman dan keterpaparan sasaran terhadap risiko. Inilah kenapa ada perbedaan antara definisi sederhana risiko

sebagai hasil kemungkinan, dan perluasan kerusakan yang lebih menunjukkan sudut pandang operator atau pelaksana (Saainin, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan secara logis (*forecasting*) risiko yang akan timbul selama proses pembangkitan listrik tenaga uap di PG Kebon Agung, dengan mengambil kasus khusus pada ketel uap. Tulisan ini menitikberatkan pembahasan pada probabilitas terjadinya overpressure pada saat pengoperasian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil lokasi utama di PG Kebon Agung, Malang dengan ketel uap pada unit pembangkit listrik tenaga uap sebagai obyek utamanya. Ketel uap yang digunakan pada studi ini diinstalasi pada tahun 2000. Ketel uap ini mempunyai kapasitas maksimal 80 ton, ketebalan selimut luar 30 cm dan suhu maksimal uap keluaran sebesar 350 °C. Ketel uap ini bekerja 24 jam setiap harinya, dengan waktu kerja 6 bulan dalam setahun, sehingga terhitung sejak tahun pembangunannya, ketel ini telah bekerja selama 10 tahun dengan 43.800 jam kerja.

Data-data yang digunakan sebagian besar adalah data sekunder yang berupa catatan investigasi dari operator teknik yang bekerja pada bagian pembangkitan selama 5 tahun terakhir. Analisis dilakukan melalui dua tahap, yaitu analisis bahaya dan analisis frekuensi. Lebih rinci mengenai analisis tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Analisis bahaya (*Hazard analysis*).

Analisis ini secara logis mengidentifikasi tentang adanya sumber-sumber bahaya yang mungkin terjadi selama berlangsungnya proses penguapan. Metode HazOp (*The Hazard and Operability Study*) digunakan dalam analisis ini, dengan alasan bahwa metode ini lebih sistematis, dapat digunakan secara luas untuk berbagai macam disiplin serta kualitas analisisnya terbukti sangat baik. Tujuan penggunaan HazOp ini adalah untuk meninjau suatu proses atau operasi pada suatu system secara sistematis, untuk menentukan apakah proses penyimpangan yang terjadi dapat mendorong kearah terjadinya kecelakaan yang tidak diinginkan (Iviana, 2003).

Untuk pelaksanaan HazOp, prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut (Ahmed, 1992):

- a. Pembuatan sebuah P&ID (*Piping and Instrument Diagram*) dalam menggambarkan suatu proses produksi. Diagram sekilas terlihat sederhana tetapi isinya memuat keseluruhan proses
- b. Pemecahan proses (*processes breakdown*) menjadi sub-proses-sub-proses yang lebih kecil dan detail. Untuk memperjelas pemisahan antar sub-proses, diberikan simpul (*node*) pada ujung setiap sub-proses, Tidak ada ketentuan khusus tentang

pembatasan “rentang” proses.

Pencarian kemungkinan-kemungkinan adanya penyimpangan pada setiap proses melalui penggunaan pertanyaan-pertanyaan yang sistematis model-model pertanyaan pada HazOp dirancang sedemikian rupa menggunakan beberapa kata kunci/*keywords/guidewords*, dimaksudkan untuk mempermudah proses analisis.

Untuk dapat memulai HazOp, sebagaimana telah dituliskan pada prosedur pertama, studi awal yang harus dilakukan adalah memahami terlebih dahulu bagaimana diagram operasi dari ketel uap tersebut. Dari studi awal tersebut, kemudian dilakukan pengamatan terhadap semua titik yang dianggap mempunyai kemungkinan mengandung bahaya. Dalam studi awal ini ditetapkan 15 titik yang berupa sensor yang diduga awal akan sebagai sumber bahaya, seperti tunjukkan pada Tabel 1, serta katup IDF. Titik-titik yang berupa sensor tersebut diberi notasi angka dai 1 hingga 15. Setelah itu dilakukan analisa HazOp terhadap titik tersebut berdasarkan prosedur selanjutnya, yang kemudian ditetapkanlah beberapa titik sebagai sumber bahaya. Setelah node ini ditentukan, maka tahap selanjutnya adalah analisa frekuensi berdasarkan digram proses yang ada.

Tabel 1. Posisi Sensor

| No. | Sensor Tekanan | No. | Sensor Suhu |
|-----|-------------------------|-----|----------------------------------|
| 1 | <i>Upper Drum</i> | 9 | <i>Boiler Outlet Gas</i> |
| 2 | <i>Super Heater</i> | 10 | <i>Air Heater Outlet (Gas)</i> |
| 3 | <i>Air Heater Inlet</i> | 11 | <i>Air Heater Outlet (Air)</i> |
| 4 | <i>Burner Box</i> | 12 | <i>Air Heater Outlet (Steam)</i> |
| 5 | <i>Under Grate</i> | 13 | <i>Boiler Inlet Water</i> |
| 6 | <i>Chomb Chamber</i> | 14 | <i>Fuel Oil</i> |
| 7 | <i>Boiler Outlet</i> | 15 | <i>Boiler Inlet Oil</i> |
| 8 | <i>Dust Collector</i> | | |

Analisa frekuensi (*frequence analysis*)

Tujuan dari analisa frekuensi adalah untuk mengestimasi besarnya probabilitas suatu kejadian tertentu dapat terjadi. Ada beberapa cara analisis frekuensi yang dapat dilakukan. Tulisan ini akan menggunakan salah satu cara analisis frekuensi, yaitu dengan menggunakan diagram pohon.

Metode diagram pohon atau FTA (*Fault Trees Analysis*) adalah pemaparan logis, awal mula atau dasar sebuah kejadian. Dalam metode ini ada dua kata kunci yang penting yaitu *Top Event* dan *Basic Event* (Lees, 2001). Prinsip dasar dari metode diagram pohon adalah menterjemahkan sebuah sistem ke dalam diagram logis yang terstruktur. Konsep dari gerbang (*gates*) sebenarnya merupakan fokus utama dalam diagram pohon. Setiap cabang-cabangnya adalah sub-sistem dari sebuah

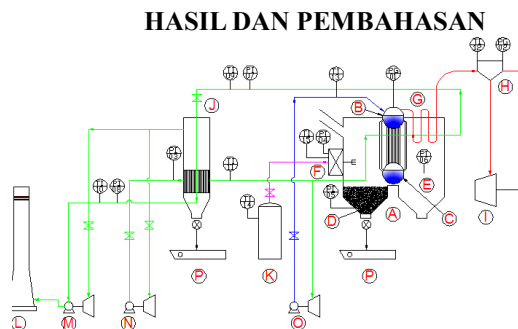
penyimpangan atau bisa saja kesalahan operator (*human error*). Gerbang yang paling umum digunakan adalah gerbang “AND” dan gerbang “OR”. Contoh dari gerbang-gerbang tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Sedangkan persamaan operasi yang dilakukan untuk gerbang AND adalah sebagai berikut:

Probabilitas
 $P(T) = P(Be_1). P(Be_2)..... (2)$

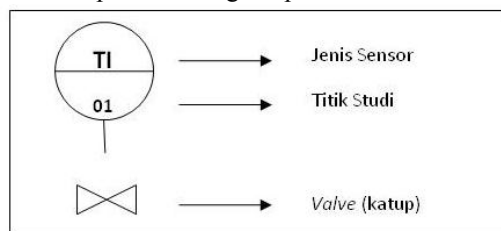
Tabel 2. Simbol Gerbang Logika

| Simbol | Nama | Berfungsi Mendeskripsikan |
|--------|--------------------|--|
| | Gerbang AND | Output terjadi jika input menyimpang secara bersamaan (simultan) |
| | Gerbang OR | Output terjadi meski hanya satu input mengalami penyimpangan |
| | Intermediate Event | Output dari gerbang And atau Or |
| | Under development | Penyimpangan yang tidak dapat terdeteksi karena tingkat kesulitan pengambilan data |
| | Basic event | Penyebab penyimpangan yang paling dasar dan tidak memiliki input |
| | Transfer Symbol | Menghubungkan gerbang-gerbang yang memiliki banyak cabang |



Gambar 2. Diagram Proses Penguapan pada Ketel

Diagram proses kerja paa ketel uap ditunjukkan oleh Gambar 2. Pada gambar ditunjukkan ada 15 sensor yang terdiri dari sensor tekanan sebanyak 8 buah dan sensor suhu sebanyak 7 buah. Masing-masing sensor tersebut ditunjukkan dengan suatu simbol seperti diterangkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Arti Simbol Sensor

Dalam diagram pohon ini, penyimpangan dari sebuah sistem atau pengelolaan yang kurang baik akan menimbulkan satuan yang disebut *demand*. Oleh Tweedale (2003), *demand* sendiri biasa dikaitkan dengan waktu. Dengan *demand* inilah, frekuensi dari suatu penyimpangan bisa diramalkan secara logis (*forecasting*). Misalkan suatu penyimpangan pada sebuah komponen memiliki angka probabilitas 0,05 per tahun, maka indikasinya adalah dalam setiap 100 tahun akan terjadi 5 kali penyimpangan, atau dengan kata lain 1 kali dalam 20 tahun. Ilustrasi dari metode pohon dengan gerbang logika ini ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Operasi gerbang logika untuk operasi OR (a) dan AND (b)

Persamaan operasi yang dilakukan untuk gerbang OR adalah sebagai berikut:

Probabilitas
 $P(T) = P(Be_1) + P(Be_2) - P(Be_1). P(Be_2)..... (1)$

Proses kerja bagian ketel uap secara umum adalah sebagai berikut.

- 1) Air pada ketel uap dipompakan keatas menuju *upper drum* dengan tenaga dari *Boiler Feed Pump* (BFP) atau pompa pengumpan. Seperti yang telah dijelskan sebelumnya, air yang dipasok menuju ketel uap telah melewati serangkaian proses penyulingan oleh *Water Treatment Plant*.
- 2) Pemanasan ketel uap bersumber dari dua media, yaitu udara panas dan api. Api diperoleh dari pembakaran utama yaitu ampas tebu, jika panas dari ampas tebu kurang mencukupi, maka digunakan api dari *burnerbox*. Ampas tebu dibakar dengan udara yang telah dipanaskan melalui *air preheater*. Udara tersebut dipasok dari *Induced Draft Fan* (IDF), yang berfungsi sebagai penghembus udara luar. Prosesnya yaitu udara luar dengan suhu 30°C dihembuskan

- melewati *air preheater* hingga mengalami peningkatan suhu mencapai 195°C.
- 3) Udara panas mampu membakar ampas tebu yang telah dirajang halus. Pembakaran tersebut menghasilkan api yang sangat besar sehingga udara yang melewatinya mengalami peningkatan suhu mencapai 688°C. Dengan suhunya yang sangat tinggi, udara panas kemudian mengalir memanaskan *upper drum* dan *lower drum* mengakibatkan air berubah menjadi uap basah.
 - 4) Uap basah mengalir melalui pipa bertekanan tinggi (*super heater*). Pipa tersebut kembali dipanaskan oleh udara bersuhu tinggi sehingga mengakibatkan uap basah menjadi uap kering bersuhu 310°C. Uap super panas ini ditampung kedalam *header* yang berfungsi sebagai pembagi uap. Melalui *header* inilah nantinya akan didistribusikan kepada seluruh stasiun PG Kebon Agung yang membutuhkan.
 - 5) Kembali ke aliran udara panas. Setelah melalui serangkaian proses di dalam ketel uap, udara tersebut membawa partikel sisa pembakaran ampas tebu dan kotoran didalam ketel. Karena ukuran partikel tersebut lebih berat maka gaya grafitasi menariknya kebawah menuju *dust collector*. Udara panas terus mengalir karena dihisap oleh *Force Draft Fan* (FDF), melewati *air preheater* untuk memanaskan udara luar. Pada akhirnya udara panas ini mengalami penurunan suhu menjadi 290°C dan keluar melalui cerobong (*chimney*).

Analisis Bahaya

Setelah memahami alur proses pembangkitan uap, maka dimulailah analisa lanjutan dengan membuat Tabel *HazOp* dengan cara menentukan terlebih dahulu titik studi bahaya (*node*). Terdapat 8 sensor tekanan dan 7 sensor suhu yang tersebar di beberapa komponen ketel uap. Analisis pertama yaitu pada *inlet upper drum* (aliran air), dari empat penyimpangan kuantitas untuk aliran yang paling diwaspadai adalah aliran rendah dan terhenti. Analisis kedua yaitu *outlet upper drum* (aliran uap), aliran yang perlu diwaspadai adalah aliran rendah. Analisis ketiga yaitu pembakaran berlebih, aliran yang perlu diwaspadai adalah aliran tinggi karena jika kapasitas bakar terlampaui tinggi maka berbanding lurus dengan peningkatan tekanan uap.

Analisa dilakukan dengan membuat table HazOP yang berisi *guide words*, penyebab dan akibat dari adanya bahaya tersebut. Untuk memudahkan dalam menganalisa tersebut, dibuatlah Tabel 3,4 dan 5 sebagai berikut:

Tabel 3. Guidewords Pembakaran Berlebih

| Guidewords | Penyebab | Konsekuensi |
|---------------|---|---|
| Aliran Tinggi | Tidak berfungsinya katup IDF (posisi katup : terbuka) | Udara yang masuk tidak dapat dikendalikan |

| | | |
|-----------------|---|---|
| Aliran Tinggi | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>air heater inlet</i> | Udara masuk yang bertambah tidak terdeteksi |
| | Penyimpangan sensor suhu pada <i>air heater outlet</i> | Peningkatan suhu udara panas yang masuk ke dalam ketel tidak terdeteksi |
| | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>under grate</i> | Peningkatan suhu udara panas yang masuk ke dalam ketel tidak terdeteksi |
| | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>chomb chamber</i> | Peningkatan suhu udara panas yang masuk ke dalam ketel tidak terdeteksi |
| Guide words | Penyebab | Konsekuensi |
| Aliran Rendah | Tidak berfungsinya katup IDF (posisi katup : tidak terbuka sempurna) | Udara yang masuk terhambat dan pasokan ke dalam ketel uap berkurang |
| | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>air heater inlet</i> | Udara masuk yang berkurang tidak terdeteksi |
| Aliran Terhenti | Penyimpangan katup pada pipa <i>boiler outlet</i> (posisi katup : tertutup) | Udara panas sisa pembakaran tidak mampu mengalir menuju cerobong asap |
| Aliran Balik | Tidak berfungsinya katup IDF (posisi katup : tertutup) | Udara masuk, berbalik arah karena terhalang katup yang tertutup |

Tabel 4. Guidewords Inlet Upper Drum (Aliran Air)

| Guide words | Penyebab | Konsekuensi |
|---------------|---|---|
| Aliran Tinggi | 1. Penyimpangan katup BFP (posisi katup : terbuka) | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> bertambah tapi tidak terkontrol. Volume air lebih besar dari pada volume uap |
| | 2. Penyimpangan sensor tekanan <i>upper drum</i> | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> bertambah tapi tidak terkontrol. Volume air lebih besar dari pada volume uap |
| Aliran Rendah | 1. Penyimpangan katup BFP (posisi katup : tidak terbuka sempurna) | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> berkurang dan tidak terkontrol. Volume uap yang terbentuk lebih besar dari pada volume air |
| | 2. Penyimpangan sensor tekanan <i>upper drum</i> | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> berkurang tapi tidak terdeteksi. Volume uap yang |

| | | |
|-----------------|--|---|
| | | terbentuk lebih besar dari pada volume air |
| | 3. Penyimpangan sensor suhu boiler inlet water | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> meningkat suhunya tapi tidak terkontrol sehingga tekanan uap lebih cepat meningkat |
| Aliran Terhenti | Penyimpangan katup BFP (posisi katup : tertutup) | Tidak ada pasokan air menuju <i>upper drum</i> |
| Aliran Balik | Penyimpangan katup BFP (posisi katup : tertutup) | Pasokan air menuju <i>upper drum</i> terhenti karena air masuk terhalang katup |

Tabel 5. Guidewords Outlet Upper Drum (Aliran Uap)

| Guide words | Penyebab | Konsekuensi |
|-----------------|--|---|
| Aliran Rendah | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>upper drum</i> | Produksi uap basah yang berkurang tidak terdeteksi |
| Aliran Terhenti | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>header</i> | Produksi uap kering lebih besar dari pada distribusinya, tampungan uap kering pada <i>header</i> melebihi kapasitas |
| Aliran Balik | Penyimpangan sensor tekanan pada <i>header</i> | Uap kering yang ditampung pada <i>header</i> melebihi kapasitas menyebabkan uap kembali ke dalam <i>upper drum</i> |

Dengan memperhatikan hasil analisa HazOp di atas, maka ditentukanlah titik kritis bahaya. Titik kritis bahaya tersebut berjumlah 7, yang terdiri dari 6 buah sensor dan satu katup seperti ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Titik Studi Terseleksi

| No | Titik Studi |
|----|---|
| 1 | Titik studi 1 (sensor tekanan pada <i>upper drum</i>) |
| 2 | Titik studi 2 (sensor tekanan pada <i>super heater</i>) |
| 3 | Titik studi 3 (sensor tekanan pada IDF) |
| 4 | Titik studi 5 (sensor tekanan pada <i>under gate</i>) |
| 5 | Titik studi 6 (sensor tekanan pada <i>chomb chamber</i>) |
| 6 | Titik studi 11 (sensor suhu pada <i>air heater outlet</i>) |
| 7 | Katup pada <i>induced draft fan</i> (IDF) |

Analisis Frekuensi

Setelah ditentukan titik studi yang akan digunakan sebagai acuan penelitian, selanjutnya dihitung frekuensi penyimpangan titik-titik tersebut, dengan data skunder berupa catatan investigasi teknis yang telah dilakukan selama 5 tahun terakhir.

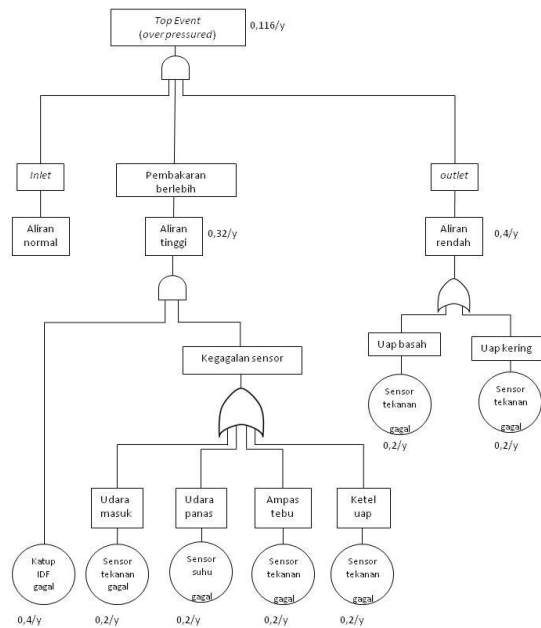
Tabel 7. Data *demand* titik studi (kurun waktu 5 tahun)

| Titik studi | Posisi | Frekuensi (/5y) | <i>Demand</i> |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|---------------|
| 1 | <i>Upper Drum</i> | 1 | 0,2 |
| 2 | <i>Super Heater</i> | 1 | 0,2 |
| 3 | <i>Air Heater Inlet</i> | 1 | 0,2 |
| 5 | <i>Under Grate</i> | 1 | 0,2 |
| 6 | <i>Chomb Chamber</i> | 1 | 0,2 |
| 11 | <i>Air Heater Outlet (Air)</i> | 2 | 0,4 |
| | Katup <i>Induced Draft Fan</i> (IDF) | 3 | 0,4 |

Diagram proses yang menjadi dasar pembuatan diagram untuk analisis frekuensi terdapat pada Gambar 2. Setelah memperhatikan berbagai keterkaitan tersebut, dibuatlah diagram estimasi probabilitas terjadinya overpressure. Diagram tersebut tetap mengacu kepada alur proses pembangkitan uap, dengan menggunakan gerbang logika sebagai alat untuk menunjukkan keterkaitan proses-proses yang ada. Diagram tersebut ditunjukkan pada gambar 4.

Dimulai dari suplai air menuju *upper drum*, aliran suplai disini dianggap normal karena mengacu pada hukum Boyle “untuk jumlah gas tertentu, ditemukan bahwa sampai pendekatan yang cukup baik, volume gas berbanding terbalik dengan tekanan yang diberikan padanya ketika suhu dijaga konstan”. Ini berarti jika volume air masuk berlebih atau berkurang tidak akan berpengaruh banyak terhadap tekanan di dalam *upper drum*. Kedua adalah pembakaran berlebih. Pembakaran berlebih tersebut menghasilkan angka frekuensi 0,32/y yang artinya dapat terjadi dalam frekuensi sekali atau dua kali dalam setahun. Sumber overpressure terakhir adalah hasil produksi uap yang keluar (*outlet*) dari *upper drum*. Frekuensi terjadinya 0,4/y yang artinya dapat terjadi dua kali kali dalam waktu lima tahun.

Perhitungan terakhir adalah *top event* (kejadian puncak) yaitu frekuensi terjadinya overpressure salah satu ketel uap yang dimiliki PG Kebon Agung. Hasil perhitungan didapatkan frekuensi terjadinya overpressure adalah 0,116/y. Hal ini dapat juga dikatakan bahwa probabilitas terjadinya ledakan adalah stu kali dalam 8,9 tahun. Jumlah ini tergolong cukup tinggi jika mengingat besarnya resiko jika overpressure ini terjadi. Akibat paling fatal terjadinya overpressure adalah terjadinya ledakan ketel uap jika tingkat kerentanan dari ketel uap maupun sistemnya sangat lemah.



Gambar 4. Diagram Estimasi Probabilitas Overpressure pada Ketel Uap

KESIMPULAN

Analisa bahaya terhadap 15 titik sensor ditambah dengan satu katup IDF berhasil menentukan 7 buah titik kritis terhadap kejadian *overpressure* pada ketel uap. Hasil analisa frekuensi terhadap data-data penyimpangan selama pengoperasian ketel uap selama 5 tahun, menyimpulkan bahwa probabilitas terjadinya *overpressure* adalah 0,116/ y atau sekali dalam 8,9 tahun.

SARAN

Overpressure adalah salah satu kejadian yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan ketel uap. Ledakan akan dapat benar-benar terjadi jika nilai *overpressure* yang ada lebih tinggi dari tingkat kerentanan (*vulnerability*) dari ketel uap itu sendiri. Nilai probabilitas 0,116/y adalah nilai yang masih tergolong besar. Bagi pihak pengelola PG Kebon Agung, penulis menyarankan untuk meningkatkan inspeksi dan perawatan secara lebih ketat untuk mengurangi resiko yang ada. Penelitian lebih lanjut diharapkan untuk dilakukan, terutama menyangkut estimasi angka *overpressure* yang dapat terjadi serta tingkat kerentanan (*vulnerability*) yang ada di Ketel Uap PG Kebon Agung saat ini

PUSTAKA

- Ahmed, N. and Khan, A.A. 1992. Common telltales can identify safety Hazards. Chemical Engineering Progress, July pp 73-78
- Bowden, A. 2001. *Triple Bottom Line Risk Management*. Malcolm : UK
- Cameron, I.T., & Raman, Raghu. 2005. *Process Systems Risk Management*. Elsevier Academic Press :Sydney.

Costello, K. 2004. *Increased Dependence on Natural Gas for Electric generation: Meeting the Challenge*. The Electricity Journal, 17(5), 10–29.

Gozan, M. 2009. **K3 dalam Industri Kimia**. <http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/11/a9e81a52a3311b99b67541c50967dc456e6b9cec.pdf>. Diakses tanggal 20 Februari 2010.

Lees, F.P. 2001. Loss Prevention in Process Industries, Butterworths-Heinemann, Oxford.

Saanin, S. 2007. **Penilaian Risiko Bencana**. BSB Sumbar : Sumatra Barat

Susanto, S. 2002. **Manual Risk Management Based Audit**. BPKP: Bandung

Tweeddale, H.M. 2003. Managing Risk and Reliability in Process Plant. Gulf Professional Publishing

PENERAPAN BRIKET KOKAS LOKAL HASIL PENELITIAN GUNA BAHAN BAKAR DALAM PROSES PENGECORAN LOGAM

Dwi Aries Himawanto¹⁾

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jalan Ir. Sutami no. 36A Surakarta
e-mail : dwi_ah@uns.ac.id

Abstract

The objective of this research is to find the production technology and the product of local cokes briquette which consists of green cokes and breeze cokes. The briquette suggested to substitute import coke on foundry industry.

The main goal of these research are to find the local briquette carbonization process which produced the optimum briquette i.e have a good mechanic characteristics and cheap production costs.

The results of the first year research are found that the optimum briquette which predicted to substitute of import cokes is the local cokes briquette which consist of 60 % green coke and 40 % breeze coke which binded with 10 % asphalt and pressed on 64 kg/cm² for 5 minutes holding time. The carbonization condition of those briquette are 275 °C final temperature which reached with 2 °C/menit and holds for 135 minutes. The produced briquette could be hold 3063,33 kgf vertical load and have the 95,25 % from the initial mass after 10 times drops. On the real foundry application, the produced briquette could be give the tapping temperature of cast iron around 1244 °C – 1318 °C and give the pouring temperature around 1209 °C – 1307 °C.

Key words : coke briquette, green coke, breeze coke, Foundry

PENDAHULUAN

Sektor industri logam merupakan salah satu sektor yang cukup besar menyumbangkan pendapatan asli daerah propinsi Jawa Tengah, kurang lebih sekitar 7 % dari total PDRB sektor industri manufaktur di Jawa Tengah, serta membawa keterkaitan yang cukup tinggi dengan sektor yang lain, sehingga kondisi sektor ini akan mempengaruhi kondisi sektor yang lain. Produk dari sentra industri logam ini beragam, mulai dari alat pertanian sampai dengan komponen otomotif dan industri berat. Sehingga mengatasi permasalahan yang muncul di sektor industri ini dipandang mampu memberikan daya ungkit terhadap pertumbuhan ekonomi wilayah yang cukup besar.

Namun meskipun memiliki peranan yang cukup penting dalam pengembangan industri di Propinsi Jawa Tengah, kondisi salah satu sentra usaha pengecoran logam Propinsi Jawa Tengah yang terletak di Kecamatan Ceper Kabupaten Klaten Propinsi Jawa Tengah, terpukul oleh beberapa permasalahan yang bertubi-tubi, mulai dari mahalnnya dan langkanya bahan baku berupa besi bekas kemudian disusul oleh kian mahalnnya bahan bakar utama berupa briket kokas dan munculnya pesaing berat dari Republik Rakyat Cina, dan hal ini sempat diangkat secara nasional oleh harian Kompas edisi tanggal 26 dan 27 April 2004.

Khusus untuk masalah bahan bakar industri pengecoran, sebenarnya para pengusaha di Ceper telah cocok menggunakan briket kokas impor yang didatangkan dari negeri Cina, namun sayangnya karena kebijakan Pemerintah Cina untuk membatasi

ekspor briket kokasnya, maka harga briket kokas impor kian mahal dan menyebabkan biaya produksi menjadi mahal. Untuk menyasiasi hal tersebut, maka beberapa pengusaha pengecoran di Ceper telah berusaha membuat briket kokas lokal, yang dibuat dari bahan baku kokas lokal yang ditekan dengan tekanan tertentu dan dikarbonasi pada satu kondisi karbonasi yang optimum. Namun demikian briket kokas lokal buatan pengusaha tersebut dalam pemakaian dan proses pembuatannya mengalami beberapa permasalahan, sehingga mempengaruhi pada proses hasil pembakaran. Menurut CV. Multi Guna Ceper Klaten, perusahaan tempat penelitian dalam kegiatan ini, briket yang digunakan sebagai bahan bakar tungku peleburan logam mempunyai kelemahan di antaranya mudah pecah pada saat proses karbonasi dan pembakaran, suhu bakar yang rendah dan tidak bisa terbakar habis. Sedangkan dalam proses pengangkutan dan penyimpanan, briket kokas yang sudah jadi mudah terkikis dan pecah. Hal tersebut diduga disebabkan karena kondisi pengkarbonisasian briket kokas lokal yang kurang tepat.

Berawal dari kondisi riil inilah, maka dilakukan serangkaian penelitian mengenai pengaruh kondisi karbonasi briket kokas lokal terhadap karakteristik mekanik briket tersebut dan dilakukan uji coba skala riil briket kokas lokal hasil penelitian dalam proses pengecoran logam di CV. Multi Guna Ceper.

Secara teoritis, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas dari bahan bakar padat seperti briket kokas. Faktor-faktor tersebut diantaranya kadar air (*moisture*), komposisi, bentuk,

ukuran, jenis pengikat dan cara pembuatan. Khusus dalam kaitannya dengan proses pembuatan briket kokas, hal-hal yang sangat mempengaruhi kualitas briket adalah ukuran partikel kokas, temperatur karbonasi, lama waktu karbonasi serta laju pemanasan karbonasi.

Beberapa penelitian yang telah terkait terkait proses karbonasi/pirolisis bahan bakar padat antara lain, Gale *et al.* (1995) yang meneliti masalah pengurangan *swelling* dan porositas batu bara selama proses devolatilisasi menemukan bahwa *swelling* dan porositas batu bara akan meningkat seiring dengan kenaikan laju aliran panas yang diterimanya selama proses devolatilisasi. Pengaruh tipe batubara, massa partikel, temperatur, laju aliran udara, jumlah partikel dan lapisan abu terhadap laju pembakaran telah diteliti oleh Blackham, *et al.* (1992) untuk partikel batubara berukuran 5-10 mm. Ndaji *et al.* (1997) melakukan penelitian mengenai masalah perubahan struktur makromolekul batubara sebagai akibat temperatur pirolisis, menyimpulkan bahwa peristiwa *swelling* (retakan) pada batu bara yang dipirolisis akan berhenti pada temperatur pirolisis sekitar 600 °C. Li *et al.* (2000) dalam penelitiannya mengenai masalah struktur *porous* arang batu bara bituminus dan pengaruhnya terhadap pembakaran menyatakan bahwa terdapat hubungan yang jelas antara struktur arang dengan karakteristik pembakarannya. Penelitian Zapusek (2003) tentang karbonasi batubara muda yang dilakukan pada dapur pengeringan berputar pada lima temperatur berbeda (550, 600, 650, 700, 750°C), empat waktu lama pemanasan (15, 30, 60 dan 120 menit) dan tiga jenis ukuran partikel berbeda (4-10, 10-20 dan 20-40 mm), menunjukkan bahwa temperatur karbonasi mempengaruhi luas permukaan spesifik batubara dan ditemukan bahwa waktu karbonasi terbaik diperoleh pada lama waktu karbonasi 60 menit.

Dari paparan tersebut diatas, tampak bahwa kondisi karbonasi sangat menentukan karakteristik

mekanik bahan bakar padat, dan dari studi literatur yang dilakukan, tampak bahwa penelitian mengenai efek laju pemanasan selama karbonasi terhadap karakteristik mekanik briket kokas jarang diteliti. Oleh karena itu, dalam artikel ini, disajikan hasil penelitian yang telah mengenai efek laju karbonasi terhadap karakteristik mekanik briket kokas lokal dan uji coba briket kokas lokal terbaik hasil penelitian tersebut untuk proses pengecoran logam.

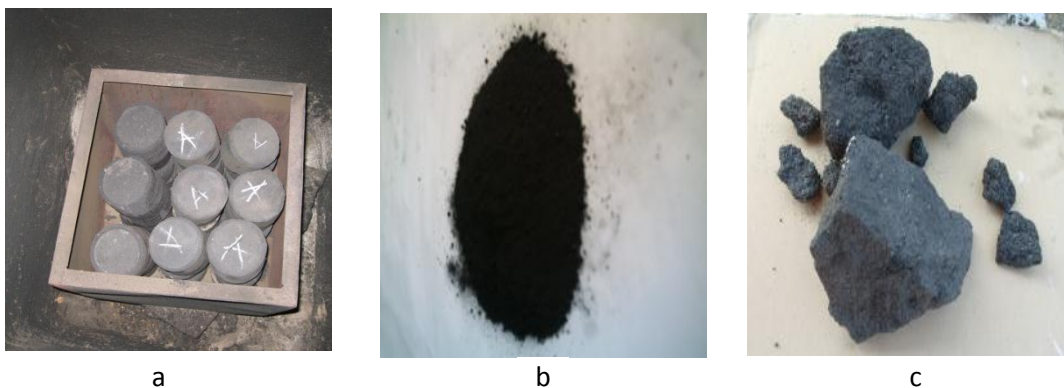
METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kokas lokal yang terdiri dari *green coke* dan *brezee coke* yang dibuat menjadi briket kokas lokal dengan komposisi 60 % *green coke* - 40 % *brezee coke* dengan ukuran partikel 80 *mesh* berpekat aspal 10 % berat bahan baku dan dibriket dengan ukuran diameter 10 cm pada tekanan pembriketan 64 kg/cm² yang ditahan selama 5 menit yang dikarbonasi pada temperatur akhir 275 °C selama 135 menit. Pemilihan komposisi dan kondisi pembriketan ini didasarkan pada komposisi dan kondisi terbaik yang dihasilkan dari penelitian terdahulu peneliti. Gambar bahan baku penelitian disajikan dalam gambar 1.

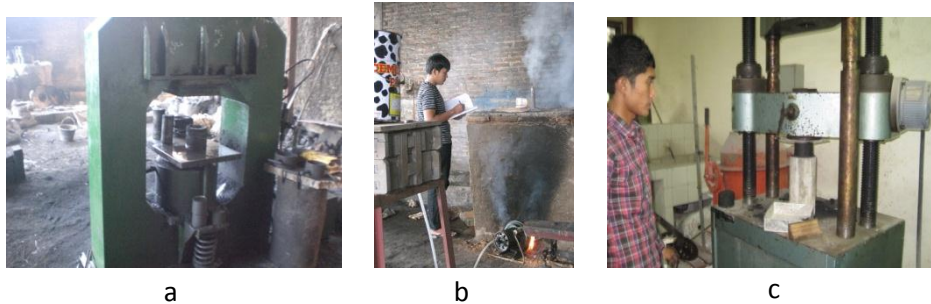
Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, mesin pres skala industri yang mampu menekan hingga tekanan 100 kg/cm², tungku karbonasi skala industri berkapasitas 150 kg per proses yang dilengkapi dengan *thermocouple reader*, *universal testing machine* untuk mengetahui kuat tekan briket, *pyranometer* optik untuk mengetahui temperatur logam cair dan tungku kupola berkapasitas 2000 kg bahan baku logam bekas. Dalam gambar 2 disajikan gambar beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 1. Bahan Baku Penelitian

(a) Green coke (b) Brezee coke (c) Briket kokas lokal yang belum dikarbonasi



Gambar 2. Gambar Beberapa Peralatan Penelitian Yang Digunakan
(a) Mesin Pres (b) Tungku Karbonasi (c) Universal Testing Machine

Cara Pengambilan Data

Pengambilan data mengenai kondisi laju pemanasan/*heating rate* yang tepat guna pembuatan briket kokas lokal, dilakukan dengan menggunakan burner berbahan bakar solar sebagai bahan bakar, variasi *heating rate* didapatkan dengan melakukan pengaturan terhadap katup *inlet burner* solar, sementara untuk menjaga kondisi temperatur saat waktu penahanan karbonasi dilakukan dengan mengatur katup buangan ruang pembakaran. Kondisi pengambilan data dilakukan dalam kondisi riil yaitu pada tungku karbonasi milik CV. Multi Guna Ceper Klaten tempat penelitian dilakukan, dengan satu harapan lebih bisa mendekati pada proses produksi sesungguhnya.

Pengambilan data dilakukan dalam tiga tahapan, tahapan yang pertama adalah pengambilan data *heating rate* kondisi karbonasi yang selama ini dilakukan oleh CV. Multi Guna Ceper Klaten, yaitu dengan sumber panas karbonasi dari pembakaran kayu, tahapan kedua adalah karbonasi dengan *heating rate* yang dapat diatur dengan mekanisme pembukaan katup *inlet burner* solar namun dalam kondisi semi produksi, dimana briket yang dikarbonasi seberat 20 kg, dan tahapan ketiga adalah proses karbonasi dengan pengaturan *heating rate* dalam kondisi kapasitas produksi yaitu 150 kg. Pada tahapan kedua dilakukan uji mekanik briket untuk mengetahui ketahanan briket terhadap beban tekan dan beban impak, dan kondisi karbonasi yang memberikan kekuatan mekanik yang paling tinggi akan dipakai dalam tahapan ketiga yaitu kondisi karbonasi skala produksi. Dan untuk membuat karbonasi tahapan ketiga menyamai atau mendekati kondisi karbonasi tahapan kedua, diperlukan uji coba beberapa kali dengan mengatur katup *intake udara* dari blower *burner*.

Bila telah ditemukan briket kokas lokal hasil penelitian dengan karakteristik mekanik yang terbaik, maka dilakukan uji pemakaian briket kokas lokal terbaik hasil penelitian tersebut untuk pengecoran logam skala riil, dalam uji coba ini digunakan sekitar 400 kg briket kokas lokal dengan 2000 kg logam bekas sebagai bahan baku pengecoran. Dalam uji penggunaan briket kokas

lokal dalam skala industri ini, diamati temperatur logam cair dengan menggunakan *pyrometer* optik, dimana temperatur logam cair tersebut akan menentukan mudah tidaknya logam cair membeku.

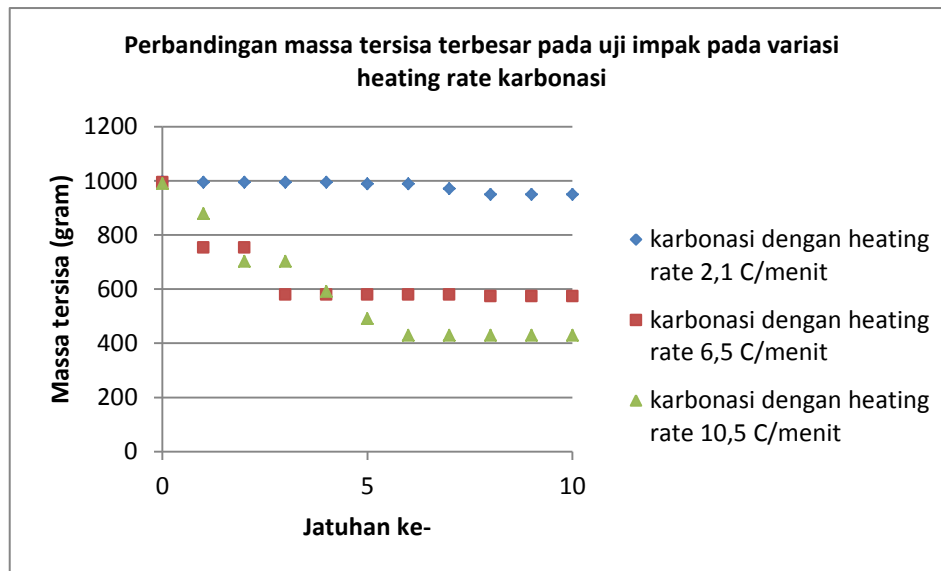
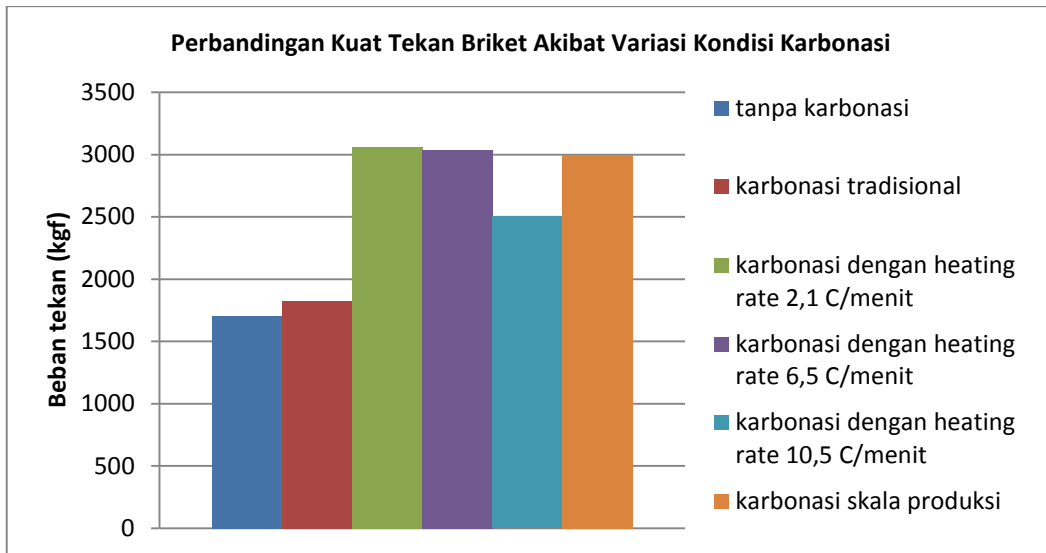
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Laju Pemanasan Karbonasi Terhadap Karakteristik Mekanik Briket Kokas Lokal yang Diteliti

Dari penelitian yang dilakukan, ditemukan kondisi *heating rate* yang didapatkan dari hasil penelitian ini adalah,

- Untuk kondisi karbonasi yang selama ini dilakukan oleh CV. Multi Guna dengan menggunakan bahan bakar kayu diperoleh data untuk mencapai temperatur karbonasi 275°C diperlukan waktu selama 175 menit, namun dengan kondisi temperatur yang fluktuatif mengikuti karakteristik pembakaran kayu
- Untuk variasi laju pemanasan dengan memvariasi katup *inlet burner* solar, didapatkan laju pemanasan $2,1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, $6,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan $10,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$
- Untuk kondisi karbonasi dalam skala riil didapatkan *heating rate* sebesar $1,9^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

Briket kokas lokal hasil karbonasi tersebut kemudian diuji karakteristik mekaniknya sehingga didapatkan bahwa briket kokas lokal dengan kondisi karbonasi $2,1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ memiliki kuat tekan terbesar yaitu mampu menahan beban sebesar 3063,33 kgf dan mampu memiliki ketahanan impak yang relatif lebih bagus daripada briket kokas variasi yang lain, yaitu hanya berkurang sebesar 4,75 % dari massa awal, sehingga untuk proses karbonasi riil ditetapkan *heating rate* yang digunakan adalah $2,1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, namun dari beberapa uji coba untuk kondisi karbonasi skala riil yang mendekati kondisi tersebut adalah karbonasi dengan *heating rate* $1,9^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Hasil uji kuat tekan dan kuat impak briket hasil penelitian disajikan dalam gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Mekanik Briket Kokas Lokal Yang Diteliti

Dari gambar 3 diatas, tampak bahwa briket kokas lokal yang dihasilkan dari proses karbonasi skala produksi, yaitu dengan *heating rate* 1,9 °C/menit memiliki kemampuan menahan beban tekan sebesar 3000 kgf, hal ini berarti satu buah briket mampu menahan beban vertikal sebesar 3 ton, satu hal yang penting dalam proses pengecoran logam , karena briket kokas menjadi *bed material*, atau material pengecoran yang berada di dasar tungku pada saat awal proses pengecoran, disamping itu pada saat proses peleburan logam briket harus mampu menahan berat logam cair yang ada, dengan mendasarkan pada kapasitas tungku kupola CV. Multi Guna sebesar 2 ton, maka briket kokas lokal hasil penelitian dapat dikatakan aman digunakan sebagai *bed material* dalam proses pengecoran logam.

Sementara itu, masih dalam gambar 3, tampak bahwa pengurangan massa briket akibat beban impak untuk briket kokas lokal yang dikarbonasi dengan heating rate 2,1 °C/menit hanya sekitar 5 % setelah 10 kali jatuhan dan dalam pengamatan fisis

meskipun briket kokas hasil kegiatan 10 kali dijatuhkan maka tidak terjadi pecahan yang besar, hanya terjadi pecahan-pecahan kecil, hal ini sangat penting untuk mengetahui ketahanan impak dari briket kokas lokal hasil kegiatan. Ketahanan impak briket merupakan satu hal yang sangat penting diketahui, karena dalam proses pengecoran setelah proses preheating selesai dan mulai terjadi peleburan logam, maka briket kokas lokal dimasukkan kedalam tungku kupola dengan cara dilemparkan sehingga akan mengalami proses benturan dengan briket yang lain atau dengan bahan baku logam bekas yang belum cair, bila briket kokas yang digunakan tahan terhadap benturan maka briket tidak pecah dan pasokan energi panas dari briket tetap terjaga, namun sebaliknya bila briket kokas yang digunakan pecah saat dilemparkan atau saat bertumbukan dengan material lain, maka akan terjadi lonjakan pasokan energi sesaat yang kemudian hilang, dimana fenomena ini disebut *sparking*, akan menyebabkan temperatur logam cair turun secara drastis, sehingga logam cor yang dihasilkan

berkualitas jelek, bahkan dapat menyebabkan proses peleburan logam gagal.

Dengan karakteristik mekanik yang dihasilkan dari hasil penelitian ini, maka dapat dikatakan tujuan untuk mendapatkan briket kokas lokal yang tepat digunakan untuk industri pengecoran logam telah tercapai.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa untuk menghasilkan satu briket kokas lokal yang bagus dari sisi mekanik, diperlukan satu kondisi karbonasi yang optimum dengan heating rate yang konstan, tidak berfluktuatif. Kondisi karbonasi akan mempengaruhi kekuatan mekanik dari briket karena terkait dengan ikatan yang terbentuk antar partikel kokas dengan *binder* nya, dalam hal ini aspal. Pasokan *fluks* panas yang kontinu merupakan kunci dari proses karbonasi briket kokas lokal, sementara laju kenaikan panas/heating rate akan mempengaruhi kadar karbon dari kokas yang memberikan dampak pada nilai kalor yang dimiliki sedangkan heating rate juga akan mempengaruhi struktur partikel kokas yang pada akhirnya akan membawa dampak pada kemampuan mengikat partikel kokas dengan perekatnya maupun dengan partikel kokas yang lain.

Hal lain yang perlu dicermati adalah, heating rate yang terlalu tinggi akan membawa dampak pada naiknya kadar abu dalam kokas, satu hal yang diduga membuat ikatan briket kokas menjadi lemah.

Hasil Uji Coba Briket Kokas Lokal Terbaik Hasil Penelitian Dalam Proses Pengecoran Logam

Dalam uji coba penggunaan briket kokas lokal terbaik hasil penelitian dalam proses pengecoran logam, digunakan 400 kg briket kokas lokal terbaik hasil penelitian, dimana 200 kg digunakan dalam proses preheating dapur logam, sementara 200 kg digunakan untuk melebur logam, sementara logam yang dilebur sejumlah 2000 kg. Dalam gambar 4 disajikan foto uji coba penggunaan briket kokas lokal terbaik hasil penelitian untuk pengecoran logam.

Dari hasil pengambilan data logam cair dengan menggunakan *pyrometer* optik, didapatkan bahwa temperatur tapping berkisar antara 1244 °C hingga 1318 °C, sementara temperatur penuangan berkisar antara 1209 °C sampai dengan 1307 °C. Dari data temperatur logam cair yang dihasilkan dari pembacaan *pyrometer* optik, tampak bahwa temperatur logam cair, baik temperatur tapping (temperatur ketika logam cair pertama kali keluar dari tungku kupola) dan temperatur pouring (temperatur ketika logam cair dituang ke dalam cetakan), berada dalam kondisi stabil, tidak

mengalami penurunan temperatur yang drastis, hal ini menunjukkan bahwa proses peleburan logam didalam kupola berjalan dalam kondisi temperatur yang relatif konstan dan tidak ada lonjakan temperatur, dengan kata lain pasokan energi yang didapatkan dari proses terbakarnya briket kokas lokal hasil penelitian memenuhi persyaratan yang diinginkan untuk melebur logam dalam kondisi yang konstan, hal menunjukkan briket kokas lokal hasil kegiatan yang memenuhi persyaratan.

SIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa ditemukan bahwa briket kokas lokal terbaik yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pengecoran logam baik sebagai bahan dasar dan bahan isian, adalah briket kokas lokal dengan komposisi 60 % *green coke* - 40 % *brezee coke* dengan ukuran partikel 80 mesh berperekat aspal 10 % berat bahan baku dan dibriket dengan ukuran diameter 10 cm pada tekanan pembriketan 64 kg/cm² selama 5 menit, serta mengalami karbonasi dengan kondisi *heating rate* sekitar 2 °C/menit dengan temperatur akhir 275 °C selama 135 menit dimana briket kokas lokal ini mampu menahan beban tekan hingga 3063,33 kgf dan memiliki berat tersisa sebesar 95,25 % dari berat awal setelah 10 kali jatuhnya. Proses uji coba briket kokas hasil kegiatan guna pengecoran logam, menghasilkan data temperatur tapping dan temperatur *pouring*/penuangan yang tinggi dan stabil. Temperatur *tapping* berkisar antara 1244 °C hingga 1318 °C, sementara temperatur penuangan berkisar antara 1209 °C sampai dengan 1307 °C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M Ditjen Dikti Kementerian Pendidikan Nasional atas terlaksananya kegiatan ini melalui kegiatan Hi Link tahun anggaran 2010. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada anggota tim penelitian ini (Prof.Dr.Ir. Indarto, DEA., Prof.Dr.Ing.Ir. Harwin Saptoadi dan Dr.Eng. Tri Agung Rohmat, B.Eng.,M.Eng dari Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM serta Ir. Subroto, MT dari Jurusan Teknik Mesin FT UMS) yang telah memberikan ijin pada penulis untuk mempublikasikan sebagian hasil penelitian Hi Link ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua asisten yang terlibat dalam penelitian ini.



(a) Bahan Baku Pengecoran Logam (Briket Kokas Lokal Terbaik Hasil Penelitian dan Logam Bekas)



(b) Kondisi Pre Heating



(c) Kondisi Tapping dan Pouring Logam Cair



(d) Pyrometer Optik Untuk Mengukur Temperatur Logam Cair

Gambar 4. Uji Coba Briket Kokas Lokal Terbaik Hasil Penelitian Untuk Pengecoran Logam

DAFTAR PUSTAKA

- Blackham, A. U., Smoot, L. D. and Yousefi, P, 1992, *Rates of Oxidation of millimeter-Sized Char Particles: Simple Experiment*, Brigham Young University, Provo, UT 84602, USA.
- Borman, G.L, Ragland, K.W., 1998. *Combustion Engineering*, Mc Graw Hill Publishing Co, New York.
- Fletcher, Thomas H., 1993, *Swelling Properties of Coal Chars During Rapid Pyrolysis and Combustion*, Fuel, Vol. 72 Number 11, pp. 1485-1495
- Gale, Thomas K., Bartholomew, Calvin H., Fletcher, Thomas H., 1995, *Decreases in The Swellings and Porosity of Bituminous Coals during Devolatilization at high Heating Rate*, Combustion and Flame 100 : 94-100
- Ndaji, Francis E., Butterfield, Ian M., Thomas K Mark., 1997, *Changes in The Macromolecular Structure of Coals With Pyrolysis Temperature*, Fuel 1987, vol . 76 number 2, pp. 169-
- Qiu, Jianrong., Li, Fan., Zeng, Hancui., Yao, Bin., Ma, Yuyi., 2000, *Determination of Optimum Blending Ratio During Coal Blends Combustion*, Combust. Scie. And Tech., vol 157, pp. 167-184
- Zapusek, A., et al., 2003. *Characterisation of carbonizate Produced from Velenje Lignite in Lab-Scale Reactor*, ERICo Velenje, Institute for Ecological Research, Koroska 58, 3320 Velenje, Slovenia.

Perbandingan Perjalanan Menggunakan Sepeda Motor dan *Park & Ride* untuk Sistem Transportasi Pedesaan Jawa Timur

Ibnu Hisyam

Lecturer of Industrial Engineering Department, ITS, Surabaya, Indonesia

E-Mail : ibnuhisyam@gmail.com

Abstract

Take travel by motor cycle have dominated rural transportation system in East Java-Indonesia. This domination is well for mobility or travel time but is not for travel safety, energy consumption, and travel cost. Park&ride as a moda for take travel by cycle to access and deaccess, to park cycle in parking place, and take main travel by bus have chance to make the transportation system be better. This paper will report an result study comparison for energy consumption, travel time, and travel cost of travel by motor cycle and by park&ride at rural transportation system in that province. To build probabilistic origin-destination matrix of two regency in East-Java that cover their rural area is the first step. The next step is to get road network that connect that zonas of the regencies. In this study, traveler will choice a rute that give him/them minimum distance. Based on the probabilistic origin-destination matrix, the road network, and the rute choice a comparison study to take travel by a moda could be conducted. A computer simulation model will be set up for this purpose. By running the model will give information about energy consumption, travel time, and cost of both moda. Which one be better is a moda that total normalization of the variables value is lower.

Key word : rural transportation, East Java, motor cycle, park & ride, energy consumption

PENDAHULUAN

Perbaikan kualitas pelayanan transportasi umum akan meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya (Sampaiao, 2008). Hal ini berkaitan dengan tingginya tingkat pengisian yang dapat dicapai dengan kualitas pelayanan yang baik. Untuk Jawa timur dari dua persoalan transportasi pedesaan, persoalan kualitas pelayanan transportasi umum (bukan infrastruktur) lebih dapat diidentifikasi sebagai sebab donimannya penggunaan sepeda motor sebagai moda perjalanan komuter pedesaan.

Pelayanan transportasi umum dalam sistem transportasi perlu dipandang dari segenap perspektif. Tanpa pengawasan Pemerintah dengan panduan prinsip pelayanan yang benar operator transportasi sering terjebak dalam kepentingan pragmatis. Pola pelayanan dengan sistem “berangkat tunggu penuh”. Memang secara sepintas baik untuk operator. Akan tetapi dalam jangka panjang akan menghapus permintaan transportasi umum karena beralih ke transportasi pribadi seperti sepeda motor. Indikasi untuk ini adalah merosotnya jumlah angkutan pedesaan yang beroperasi di Kota dan Kabupaten Kediri Jawa Timur dari sekitar 223 unit pada 2005 menjadi tinggal sekitar 114 pada 2009 (BPS, 2010)

Sisi lain dari itu, pola pelayanan transportasi umum *door to door* tetap bertahan dan diminati oleh pelaku perjalanan komuter. Ribuan pekerja sebuah pabrik di daerah Pemerintahan Kota dan Kabupaten Kediri Jawa Timur diangkut dengan pola *door to door* itu setiap pagi dan sore selama hari

kerja. Transportasi umum menggunakan bus kecil (kapasitas 22 orang) melalui jalan yang

memiliki bangkitan penumpang terbanyak. Penumpang dari bangkitan lain menjangkau jalur kendaraan umum tersebut dengan diantar anggota keluarga atau bersepeda dan parkir di tempat penitipan atau rumah kenalan di jalur bus kecil itu. Sebagian besar dari mereka (>70%) memiliki sepeda motor atau setidaknya mampu membeli sepeda motor.

Dapat digarisbawahi disini bahwa penggunaan moda untuk perjalanan bersifat dinamis terhadap kualitas pelayanan dari masing-masing moda. Meskipun kepadatan bangkitan di daerah pedesaan relatif rendah, perjalanan menggunakan sepeda motor bukanlah harga mati. Pengutamaan dan perbaikan pelayanan dapat menarik kembali minat pengguna transportasi pribadi ke transportasi umum seperti bus dan akan menawarkan kesempatan besar adanya efisiensi energi lebih tinggi (Weiler, 2006).

Sebagai upaya peningkatan efisiensi konsumsi energi, transportasi umum bus dengan pola pelayanan diperbaiki dapat diajukan sebagai alternatif pengganti angkutan umum pedesaan. Perbaikan itu diarahkan pada kualitas kendaraan dan pelayanan dengan kepastian tempat duduk, ruang, dan waktu. Pada era telekomunikasi tanpa kabel, pelayanan bus tersebut dapat dilakukan real time yang posisi kendaraannya dapat diketahui setiap waktu. Untuk akses dan deakses pengguna bus dapat menggunakan sepeda yang dapat diparkir di sekitar halte bus. Karena sistem operasi yang demikian moda ini dinamakan moda Park&Ride.

Tujuan penulisan makalah ini adalah membandingkan perjalanan menggunakan sepeda motor dan park&ride dalam sistem transportasi

pedesaan Jawa Timur. Perbandingan ini dilihat dari perspektif pengambil kebijakan dengan tinjauan mobilitas yang diwakili oleh waktu perjalanan, keramahan lingkungan yang dilihat dari konsumsi bahan bakar, dan keekonomisan yang dilihat dari biaya perjalanan. Pelaku perjalanan dalam pembahasan ini dibatasi untuk komuter bangkitan pedesaan dan tarikan perkotaan untuk kepentingan sekolah dan bekerja di jam puncak pagi hari.

Pada paragraf-paragraf berikut akan dilanjutkan pembahasan mengenai metodologi perbandingan, hasil perbandingan, berikut pembahasan dan kesimpulan.

METODOLOGI

Dalam membandingkan dua moda perjalanan komuter menggunakan sepeda motor dan park&ride, permintaan pergerakannya dibuat sama. Pada studi ini kondisi yang ada adalah perjalanan komuter menggunakan sepeda motor. Berkaitan dengan volume pergerakan yang ada, selain perjalanan komuter menggunakan sepeda motor perlu juga memperhatikan perjalanan komuter menggunakan transportasi umum *door to door*. Jumlah pelaku perjalanan yang menggunakan sepeda motor dan *door to door* disatukan dalam satu matrik asal tujuan. Matrik yang dihasilkan tidak simetris. Zona bangkitan (Desa XX, misalnya) berada pada daerah pedesaan. Zona tarikan (Pusat Perbelanjaan, misalnya) berada pada daerah perkotaan.

Sebelum menentukan zona bangkitan dan zona tarikan sesuai tujuan studi ini terlebih dahulu ditetapkan daerah jangkauan yang fisibel untuk kedua moda. Menjadi penentu daerah fisibel ini adalah sepeda motor karena jangkauannya yang lebih pendek dibandingkan bus. Daerah fisibel ini dibatasi garis kordon. Dalam menentukan daerah fisibel, ketersediaan jalur koridor yang dapat dilalui bus menjadi pertimbangan penentu. Setelah daerah cakupan didefinisikan, zona bangkitan dan tarikannya dapat ditetapkan.

Untuk mengetahui besarnya volume pergerakan antara zona tarikan dan bangkitan dapat memanfaatkan database pegawai/siswa/mahasiswa. Misalnya zona tarikan kantor-kantor dinas kabupaten. Dari data pegawai yang ada dapat diketahui siapa saja yang bertempat tinggal di zona-zona bangkitan dalam daerah jangkauan (*covering*). Bila dalam biodata pegawai atau pelajar/mahasiswa dilengkapi *field* moda perjalanan yang digunakan, waktu perjalanan, dan berapa banyak penggunaan bahan bakar (bila menggunakan kendaraan pribadi) maka gambaran kondisi sistem yang ada (perjalanan menggunakan sepeda motor) dapat diketahui.

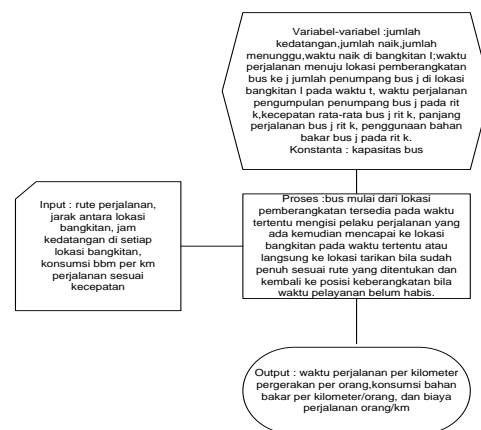
Pada kondisi database yang diinginkan belum tersedia, cara lain yang dapat ditempuh adalah dengan menyebar lembar pertanyaan atau menggunakan survei telepon. Pintu masuk untuk kepentingan ini juga biodata responden. Menggunakan biodata responden pelaku perjalanan

komuter, dari zona mana mereka berasal untuk zona atau lokasi tarikan tertentu dapat diketahui. Pertanyaan yang diajukan sesuai dengan kebutuhan data seperti pada database yang sudah dirancang baik.

Untuk kepentingan pengujian efektivitas moda park&ride, matrik tarikan-bangkitan untuk kondisi yang ada selain dari pengguna sepeda motor perlu ditambahkan bangkitan dari pelaku perjalanan dengan moda angkutan umum *door to door*. Untuk merencanakan kebutuhan dan penjadwalan operasional bus, matrik bangkitan-tarikan yang digunakan disertai dimensi waktu untuk interval 10 menit selama 2 jam. Desain sistem pelayanan yang dipilih adalah kepastian kedatangan tempat duduk di kendaraan pada suatu ruang dan waktu tertentu. Tingkat pelayanan yang diberikan kepada pelaku perjalanan komuter adalah bebas kemacetan fasilitas. Hal yang disebut terakhir ini diperlukan untuk mencapai pangsa penggunaan transportasi umum mendekati 100%.

Ada beberapa langkah pendahuluan untuk mengembangkan model simulasi komputer penentuan waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, dan biaya menggunakan moda park&ride. Pertama menentukan lintasan pergerakan bus. Kedua, menentukan lokasi fasilitas pelayanan bus (tempat pemberangkatan, halte, dan tempat transit) dan tempat parkir sepeda. Dan ketiga, zona atau bagian zona yang menjadi cakupan tempat naik/turun pelaku perjalanan komuter. Variasi yang dapat diperlihatkan untuk persoalan ini adalah variasi waktu keberangkatan dari tiap-tiap titik bangkitan.

Dengan tanpa memperlihatkan pergerakan dari tempat tinggal ke tempat akses bus pada lintasan pelayanan, *flowchart* pelayanan bus pada sistem park&ride diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1 : *Flowchart* pelayanan bus pada sistem park & ride

Matrik waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, dan biaya perjalanan untuk perjalanan menggunakan sepeda motor dapat diperoleh dari interview atau questioner terhadap responden komuter yang bekerja

atau belajar di kota dan tinggal di pedesaan. Untuk perjalanan dengan moda park&ride tiga matrik yang disebut terakhir ini diperoleh dari simulasi komputer. Karena kurangnya data primer terutama untuk membangkitkan variabel random seperti jumlah bangkitan per menit atau persepuluh menit pada suatu lokasi bangkitan untuk waktu tertentu, lamanya waktu pengisian per orang, dan waktu penurunan perorang, simulasi ini belum dapat dilakukan validasi.

Untuk membandingkan efektifitas dua moda disini akan didekati dengan menggunakan variabel terstandarkan. Nilai elemen-elemen ketiga matrik dari tiap moda diubah menjadi variabel terstandarkan (Miller, 1985) dengan menggunakan rumus persamaan (1).

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_d} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

Z : variabel normal standar

X : nilai data pada elemen matrik

\bar{X} : rerata nilai data elemen-elemen matrik

S_d : standar deviasi nilai data dari elemen-elemen matrik yang dihitung menggunakan rumus (2).

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2)$$

Nilai variabel normal terstandarkan ini tanpa satuan. Untuk membandingkan dapat digunakan nilai total maupun nilai rata-ratanya. Dalam kaitan dengan pilihan untuk suatu keputusan, variabel-variabel yang diperlihatkan pada kedua moda memiliki sifat, nilai yang lebih kecil lebih disukai (waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, dan biaya perjalanan) maka moda yang memberikan nilai total atau rata-rata variabel normal terstandarkan lebih kecil lebih disukai atau layak dipilih.

HASIL

Menggunakan metodologi diatas, beberapa hasil yang diperoleh dari studi ini adalah daerah kajian yang meliputi jalur pelayanan yang memperlihatkan lokasi-lokasi bangkitan yang dihubungkan jalan menuju daerah tarikan untuk pelaku perjalanan komuter. Untuk pengkajian di wilayah Jawa Timur yang dilakukan meliputi dua wilayah daerah tingkat dua, yaitu Kota dan Kabupaten Kediri Jawa Timur. Seluruh lokasi bangkitan berada di Kabupaten Kediri. Untuk lokasi tarikan sebagian berada di daerah Kabupaten dan Kota Kediri.

Dari daerah kajian dengan kejelasan lokasi tarikan dan bangkitan untuk perjalanan komuter, matrik asal tujuan perjalanan komuter sebagai dasar studi pembandingan ini dapat diperoleh. Berdasarkan biodata dari pegawai di lokasi tarikan seperti kantor kabupaten. Dari interview itu dapat diperoleh matrik asal tujuan seperti tabel 1. (tidak diperlihatkan secara keseluruhan).

Tabel 1 :matrik asal tujuan

| | | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|----|
| | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 |
| O\D | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| b-00 | 5 | 8 | 3 | 4 | 20 | 5 | 6 |
| b-11 | 4 | 2 | 2 | 7 | 25 | 1 | |
| b-12 | | | 3 | 3 | 10 | | 2 |
| b-13 | 3 | | 4 | 5 | 15 | | |
| b-14 | | | 6 | 9 | 20 | 9 | 4 |
| b-15 | | 3 | 3 | | 14 | 4 | 6 |
| b-T | 3 | 2 | | 4 | 20 | | 1 |

Sumber :survei peneliti,2012.

Untuk kepentingan penjadwalan bus untuk membawa pelaku perjalanan komuter perlu diketahui jumlah bangkitan pada suatu lokasi bangkitan menurut waktu. Hasil dari pedataan itu diperlihatkan pada tabel 2.(tidak ditampilkan seluruhnya)

Tabel 2 :Bangkitan pabi hari

| | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|-----|
| jam\halte | b-00 | b-11 | b-12 | b-13 | b-14 | b-15 | b-T |
| 510-520 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | 1 |
| 520-530 | 3 | 3 | 2 | 1 | | | 3 |
| 530-540 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 |
| 540-550 | 8 | 6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 550-600 | 10 | 8 | 2 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 600-610 | 6 | 8 | 9 | | 12 | 8 | 8 |
| 610-620 | 6 | 6 | 4 | 8 | 7 | 6 | 4 |
| 620-630 | 9 | 8 | 6 | 8 | 6 | 4 | 8 |
| 630-640 | 8 | 9 | 8 | 7 | 9 | 5 | 7 |
| 640-650 | 4 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | |
| 650-700 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| 700-710 | 2 | 2 | 5 | 5 | 6 | 7 | 2 |
| 710-720 | 1 | | 4 | 4 | 8 | 5 | |
| 720-730 | 3 | 2 | 2 | | 3 | 5 | 6 |
| 730-740 | | | 3 | 2 | | 6 | 4 |
| 740-750 | | | 2 | 3 | | | 4 |
| 750-800 | | | 2 | 2 | 1 | 4 | |

Sumber: survei peneliti,2012

Waktu perjalanan menggunakan sepeda motor dari suatu asal ke tujuan diperlihatkan pada tabel 3.(tidak diperlihatkan keseluruhan).

Tabel 3 : waktu perjalanan rata-rata asal tujuan menggunakan sepeda motor (dalam menit/orang/hari)

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 | d1 |
| O\D | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| | | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|----|
| b-00 | 22 | 25 | 30 | 33 | 35 | 40 | 45 |
| b-11 | 18 | 21 | 26 | 29 | 31 | 36 | |
| b-12 | | | 22 | 25 | 27 | 32 | 37 |
| b-13 | 12 | | 20 | 23 | 25 | | |

Sumber :pengolahan,2012.

Hasil olahan data yang lain meliputi : waktu perjalanan menggunakan bus (menit/orang/hari), konsumsi bahan bakar penggunaan sepeda motor dan bus per bulan (liter/orang), biaya perjalanan per bulan (Rp/orang), dan normalisasi untuk semua variabel. Hasil olahan yang disebutkan ini tidak diperlihatkan pada makalah ini.

Sedangkan ringkasan perbandingan antara transportasi pedesaan menggunakan park&ride dan sepeda motor diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4 :ringkasan nilai perbandingan penggunaan moda perjalanan antara sepeda motor dan park&ride

| Nilai normalisasi variabel untuk moda perjalanan | Total |
|--|----------|
| Sepeda motor | 90,75536 |
| Park&ride | 107,8595 |

PEMBAHASAN

Dengan tingkat kepentingan yang sama antara waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, dan biaya perjalanan moda Park&Ride belum mampu mengungguli perjalanan menggunakan sepeda motor(Tabel 4, dengan selisih nilai normalisasi variabel sekitar 17). Moda park&ride hanya unggul pada konsumsi bahan bakar. Dari segi waktu perjalanan dan biaya perjalanan penggunaan sepeda motor lebih unggul.

Beberapa hal dapat dicatat terhadap keunggulan penggunaan sepeda motor. Pertama, fleksibilitas rute. Perjalanan dari asal ke tujuan dapat dipilih pada rute perjalanan tercepat. Kedua, tidak ada resiko waktu menunggu. Meskipun memerlukan waktu untuk memarkir kendaraan, masih lebih baik dari pada menunggu dalam mendapatkan pelayanan transportasi umum.

Meskipun dari sisi bahan bakar moda park&ride lebih unggul perbedaan besarnya biaya tetap terutama penyusutan kendaraan belum mampu mengimbangi sepeda motor. Biaya penyusutan ini lebih karena biaya perolehan dan harga jual akhir. Perbedaan struktur pasar untuk kendaraan sekelas bus yang lebih sedikit pesaing lebih sulit ditekan harganya melalui persaingan.

Meskipun begitu, penggunaan park&ride masih memiliki peluang bila kriteria pertimbangan lain seperti keselamatan orang digunakan. Keberadaan orang dalam ruang terlindung dan perjalanan kendaraan yang lebih stabil karena beroda empat atau lebih dapat menjadi pertimbangan lain untuk penggunaan moda park&ride.

KESIMPULAN

Dominansi penggunaan sepeda motor untuk perjalanan komuter dalam sistem transportasi pedesaan di Jawa timur ternyata memang memiliki alasan yang cukup kuat. Tidak saja dari segi waktu perjalanan yang lebih cepat, akan tetapi juga memiliki keunggulan dari sisi biaya perjalanan.

Menawarkan alternatif moda lain yang lebih menjamin keselamatan pengguna dapat dilakukan upaya-upaya menekan biaya, terutama biaya penyusutan kendaraan melalui harga perolehan bus yang bersaing dengan industri sepeda motor.Selain itu harga bahan bakar minyak juga akan memberikan kontribusi dengan adanya konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit untuk penggunaan moda park&ride.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous, 2004, Tools, techniques,and Methods for Rural Transportation Planning, Cambridge Systematics,Inc.555 12 th Street, Suite 1600, Oakland, California 94607, 2004.
- Hensher,David A.,Rose, John M., 2007, Development of commuter and non –commuter mode choice models for assesment of new public transport infrastructure projects : A case study .**Transport**
- Hisyam, Ibnu, 2008, Penentuan Biaya transportasi Menggunakan Sepeda Motor untuk Komuter Pedesaan:Pasca kenaikan BBM Mei 2008, **Proding Seminar Nasional Pasca Sarjana ITS**, Surabaya,2008.
- Research Part A** 41(2007) 428-441.
- Miller,Irwin, Freud, John E., 1985,**Probability and Statistics For Engineers**,Third Edition,PHI New Delhi,1985.
- Sampaiao,B.R., Oswaldo L.N, and Yoni Sampaiao, 2008, Efficiency analysis of public transport system : Lesson for institutional planning, **Transportation Research A** 42 (2008) ,445-554
- Weiler, Frank , 2006, Transport,Energy, and Global Climate Change :improving energy efficiency for sustainable mobility, www.kfw-entwicklungsbank.de.2006

Pengolahan Limbah Cair Industri Gula dengan Menggunakan Bioreaktor Anaerob Membran

Rahmayetty, Bains Sulhi, Kuswatun Hasanah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman Km.3, Cilegon-Banten
Telp. (0254) 395502, Fax. (0254) 394405.
E-mail: yettyfaith1@yahoo.com

Abstract

Increasing sugar production, will increase waste water product. Sugar waste water contain high concentration of organic substrate. Concentration of COD reached 94000 mg/l and Concentration of BOD reached 45000 mg/l. This research aims to study the combined performance of anaerobic membrane bioreactor system treating wastewater in the sugar industry. Treatment of wastewater of sugar industry was using anaerobic bioreactor with effective volume work of bioreactor 6 liter and membrane used was ultrafiltration which made of pulisulfone. The modul of membrane was hollow fiber. This research was done by flowing the wastewater into the bioreactor and the output of bioreactor was passed to a membrane. Retentan returned to the bioreactor and the permeate was accommodated in the holding tank for analysis. In this research to vary the flow rate of feed to the bioreactor was 30.5; 57.5, and 70 ml / min while the parameters analyzed are MLSS, COD and flux. The results obtained in this research was the smaller flow rate of wastewater accordingly the concentration of MLSS and COD removal efficiency greater, whereas the permeate flux was smaller. MLSS concentration range between 17000-19900 mg / L, the total removal efficiency of COD is 85.21 to 87.35% and the permeate flux is 15.5 to 37 ml / min.

Keywords: Fluks, flow rate, ultrafiltration, sugar wastewater

I. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk yang sangat besar, sehingga kebutuhan akan pangan pun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk. Gula di Indonesia termasuk salah satu kebutuhan makanan pokok rakyat, tidak heran kalau pemerintah Indonesia mempunyai perhatian khusus terhadap kegiatan produksi dan perdagangan gula.

Bahan baku utama untuk pembuatan gula adalah tebu dan beet. Di daerah tropis kebanyakan makanan menggunakan bahan baku dari gula. Gula yang berada dalam tebu berada dalam bentuk disakarida (sukrosa) dan monosakarida (fruktosa dan glukosa) dan untuk menjadi gula kristal, yang dibutuhkan adalah sukrosa. Tahapan dalam proses pembuatan gula dimulai dari penanaman tebu, proses ekstraksi, pembersihan kotoran, penguapan, kristalisasi, afnisi, karbonasi, penghilangan warna, dan sampai proses pengepakan sehingga sampai ke tangan konsumen.

Berdasarkan data statistik kebutuhan gula perkapita Indonesia untuk konsumsi langsung masyarakat pada tahun 2011 adalah 2,7 juta ton, sedangkan kemampuan produksi nasional hanya 2,31 juta ton dengan impor *raw sugar* 108.889 ton

dan impor gula kristal putih 143.479 ton. Untuk memenuhi kebutuhan gula dalam negeri, saat ini pemerintah mencanangkan target swasembada gula pada tahun 2014 yaitu sebesar 5,7 juta ton. Agar swasembada tersebut tercapai maka salah satu yang diperlukan adalah perbaikan teknologi terutama dalam memproduksi gula. Semakin meningkatnya produksi gula maka akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan dalam proses produksi tersebut. Limbah hasil dari produksi gula dapat berupa limbah cair, padat dan gas.

Limbah cair industri gula mengandung bahan organik dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Konsentrasi COD limbah cair industry gula mencapai 94.000 mg/L dan BOD mencapai 45.000 mg/L. Pengolahan limbah cair industri gula di Indonesia pada umumnya menggunakan teknologi kolam konvensional yang terdiri dari beberapa kolam dengan sistem anaerob dan dilanjutkan dengan proses aerob. Kendala umum yang dihadapi dalam sistem konvensional ini adalah banyaknya biomassa yang keluar bersama aliran keluaran sistem (*effluent*) sehingga waktu tinggal biomassa dalam sistem pengolahan menjadi singkat. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggabungan sistem bioreaktor anaerob dan membran. Penggabungan kedua proses

ini memberikan keuntungan, dimana di dalam bioreaktor akan terjadi proses penguraian senyawa organik oleh biomassa sedangkan membran akan memisahkan biomassa dengan cairan sebelum dibuang ke lingkungan. Biomassa yang tertahan akan dikembalikan lagi ke dalam bioreaktor untuk dapat mendegradasi senyawa organik kembali. Cairan keluaran membran merupakan cairan yang jernih yang bebas dari biomassa.

Tujuan dari penelitian ini adalah menilai kinerja bioreaktor anaerob dan membran dalam mendegradasi senyawa organik yang berada di dalam limbah cair industri gula.

Proses pengolahan secara anaerob umumnya digunakan untuk mengolah limbah cair dengan kandungan BOD diatas 4000 mg/l. Proses anaerob juga mampu menguraikan zat organik yang tak dapat diuraikan dengan proses aerob (Grady dan Lim, 1980) dan tidak memerlukan energi untuk aerasi.

II. Metodologi

Penelitian ini menggunakan limbah cair industri gula yang berasal dari unit pengolahan limbah pada salah satu industri gula di kawasan Cilegon. Mikroorganisme yang digunakan berasal dari kotoran sapi yang dilakukan proses pembibitan secara anaerob dan pengadaptasian dengan limbah cair industri gula. Alat yang digunakan pada tahap pengolahan adalah bioreaktor anaerob dengan volume kerja efektif 6 liter dan membran yang digunakan adalah membran polisulfon dengan konfigurasi *hollow fiber*.

Tahapan pada penelitian ini meliputi tahap pembibitan, *start-up* dan tahap percobaan utama.

Pada tahap pembibitan, kotoran sapi yang berasal dari tempat penjagalan hewan dengan berat 3 kg, dicampur dengan air sebanyak 3 liter dan dimasukkan ke dalam bioreaktor anaerob tipe *batch* dan didiamkan selama 2 hari untuk penstabilan. Kondisi anaerob diperoleh dengan mengalirkan gas N_2 ke dalam bioreaktor sampai oksigen terukur keluar dan bioreaktor bebas oksigen. pH bioreaktor dijaga 6,8-7,2. Selanjutnya 200 ml limbah cair industri gula dimasukkan ke dalam bioreaktor tiap hari sampai volume cairan dalam bioreaktor mencapai 9 liter. Setelah dilakukan pembibitan cairan bibit dibuang sebanyak 250 ml dan kemudian cairan bibit ditambahkan 250 ml limbah setiap hari. Prosedur ini dilakukan selama 2 minggu secara terus menerus untuk memastikan mikroorganisme telah teraklimatisasi sempurna terhadap air limbah yang digunakan.

Pada tahap *start-up* bioreaktor, cairan bibit dimasukkan ke dalam bioreaktor sebanyak 3 liter. Kemudian limbah cair gula dimasukkan ke dalam bioreaktor dengan laju alir sesuai dengan variasi pada penelitian hingga volume total dalam bioreaktor mencapai 6 liter. Setelah itu campuran

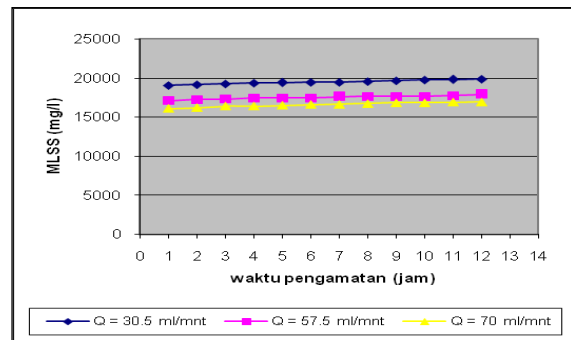
bibit dan limbah di dalam bioreaktor didiamkan selama sehari. Kemudian dilakukan tahap percobaan utama.

Pada tahap percobaan utama, limbah cair dialirkan ke dalam bioreaktor yang telah mengalami tahap *start-up* dengan laju alir yang telah ditetapkan. Keluaran bioreaktor dialirkan ke membran dan keluaran membran yang berupa cairan jernih dialirkan ke tangki penampungan sedangkan retentat dikembalikan lagi ke dalam bioreaktor.

III. Hasil dan Pembahasan

a. Pengamatan *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS)

Mixed liquor suspended solid (MLSS) merupakan jumlah konsentrasi padatan terlarut dalam campuran suatu larutan. Besaran ini biasanya digunakan untuk mengukur atau mengindikasikan adanya mikroorganisme dalam larutan (mg/L). Pengaruh laju alir terhadap jumlah MLSS dapat dilihat pada gambar berikut :



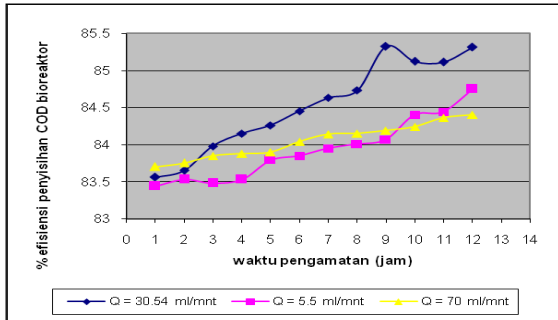
Gambar 1. Pengamatan MLSS pada berbagai laju alir

Gambar 1 memperlihatkan bahwa semakin besar laju alir, yang berarti bahwa waktu tinggal cairan semakin singkat mengakibatkan konsentrasi MLSS semakin kecil. Pada laju alir umpan 30,5 ml/menit, pada jam ke-1 konsentrasi MLSS sebesar 19.050 mg/L dan setelah akhir proses pengolahan yaitu pada jam ke-12 didapatkan konsentrasi MLSS sebesar 19.850 mg/L. Pada laju alir 57,5 ml/menit, pada jam ke-1, konsentrasi MLSS sebesar 17.100 mg/L dan pada jam ke-12 sebesar 17.900 mg/L, sedangkan pada laju alir 70 ml/menit, pada jam ke-1 MLSS sebesar 16.100 mg/L dan pada akhir proses menjadi 16.950 mg/L. Kenaikan MLSS di bioreaktor untuk berbagai variasi laju alir rata-rata dengan jumlah yang sama yaitu ± 800 mg/L. Kenaikan ini selain disebabkan karena pembelahan sel dan juga karena adanya membran yang menahan biomassa supaya tidak ikut keluar bersama aliran keluaran (*permeat*).

b. Pengamatan efisiensi penyisihan COD di bioreaktor

Nilai COD merupakan parameter untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam

mendegradasi senyawa organik yang ada di dalam air limbah. Pengaruh laju alir terhadap efisiensi penyisihan COD dapat dilihat pada Gambar 2.

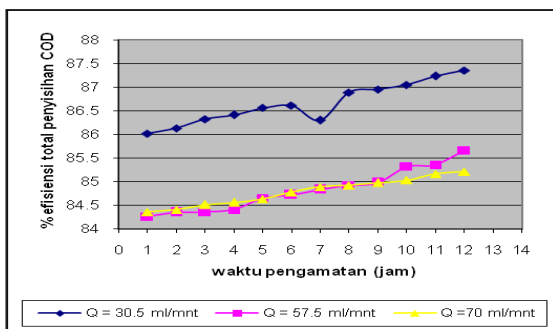


Gambar 2. Pengamatan efisiensi penyisihan COD di dalam bioreaktor

Penurunan nilai COD terjadi akibat pemanfaatan substrat oleh mikroorganisme pada berbagai laju alir. Pada Gambar 2 terlihat bahwa semakin kecilnya laju alir umpan maka efisiensi penyisihan COD semakin meningkat. Efisiensi di bioreaktor meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu tinggal cairan di bioreaktor tersebut, sehingga substrat yang terurai atau yang dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme semakin banyak. Hal ini juga dapat dilihat dengan semakin banyaknya mikroorganisme di dalam bioreaktor.

c. Pengamatan efisiensi total penyisihan COD

Efisiensi total penyisihan COD merupakan efisiensi penyisihan COD mulai dari umpan hingga keluaran (*permeat*). Pengaruh laju alir terhadap efisiensi total penyisihan COD dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengamatan efisiensi total penyisihan COD pada berbagai laju alir

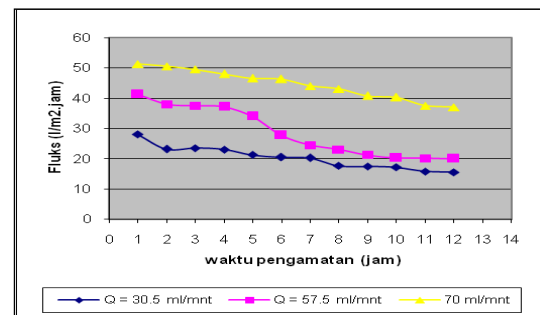
Bila dibandingkan antara Gambar 2 dan Gambar 3, maka akan terlihat bahwa efisiensi total penyisihan COD lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi COD di bioreaktor. Meningkatnya efisiensi total penyisihan COD setelah melalui membran, disebabkan karena fungsi membran yang selain dapat menahan biomassa, membran juga dapat menahan senyawa-senyawa yang belum terdegradasi yang mempunyai diameter pori yang lebih kecil

daripada diameter pori membran untuk dikembalikan lagi ke bioreaktor dan selanjutnya akan didegradasi kembali oleh mikroorganisme yang ada dalam bioreaktor tersebut. Hasil akhir (*permeat*) dari proses filtrasi membran untuk limbah cair industri gula ini masih berwarna kecoklatan, tetapi dengan viskositas dan densitas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan limbah awal (umpan). Limbah cair industri gula ini awalnya berwarna kehitaman karena mengandung molase. Efisiensi total penyisihan COD pada laju alir 30,5 , 57,5 dan 70 ml/menit masing-masing adalah 87,3, 85,66 dan 85,21%.

4.4 Pengamatan Fluks

Ukuran yang menyatakan suatu spesi untuk menembus membran disebut permeabilitas. Pada Gambar 4 terlihat bahwa dalam waktu pengamatan yang sama, semakin besar laju alir umpan yang diberikan maka fluks yang dihasilkan juga semakin besar.

Pada setiap laju alir umpan, semakin lama proses pemisahan pada membrane maka daya kerja membrane dapat berubah atau terjadi penurunan fluks membrane. Hal ini terjadi karena adanya akumulasi partikel-partikel yang tertahan dekat, pada atau dalam membrane sehingga menurunkan permeabilitas membrane dengan cara menutupi atau mengecilkan pori dengan membentuk lapisan tahanan tambahan (*foulant*).



Gambar 4. Pengamatan fluks permeat pada berbagai laju alir

V. Kesimpulan

Kinerja gabungan bioreaktor anaerob dan membrane cukup efektif untuk mengolah limbah cair industry gula bila ditinjau dari konsentrasi MLSS dan efisiensi penyisihan COD. Semakin kecil laju alir umpan maka konsentrasi MLSS dan efisiensi penyisihan COD semakin besar, sedangkan fluks permeat semakin kecil. Konsentrasi MLSS berkisar antara 17.000-19.900 mg/L, efisiensi penyisihan di dalam bioreaktor berkisar antara 84,40-85,31% dan efisiensi total penyisihan COD 85,21-87,35% dan fluks permeat sebesar 15,5-37 ml/mnt.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad dan Wenten, I.G. 1999. Membran bioreaktor anaerob untuk pengolahan limbah cair industri minyak kelapa sawit. Proceeding seminar teknologi proses kimia I. FT. Universitas Indonesia. Jakarta, Maret.
- APHA. 1992. Standard methods for examination of water and wastewater, 18th ed. American public health association. Washington.
- Benfield, L.D., dan Randall, C.W. 1980. Biochemical Engineering Fundamental. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Doste L. Ronald. 1997. Theory and practice of water and wastewater treatment. John Willey & Son, Inc.
- Grady, C.P.L. dan Lim, H.C. (1980). Biological Wastewater Treatment : Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Gekas, Vassilis. 1987. Ultrafiltration membranes, performance fundamental, 10 years characterization and fouling studies.
- Malina, J.F dan Pohlan, F.G. 1992. Design of anaerobic digestion processes for the treatment of industrial and municipal waste. Technomic publishing company, inc. Lancaster Pennsylvania.
- Metcalf dan Eddy. (1991), "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Midriany syafila, Asis H.D, Marisa.H, 2003. Kinerja bioreaktor hybrid anaerob dengan media batu untuk pengolahan air buangan yang mengandung molase. Institut teknologi bandung. Bandung.
- Mulder, M. (1996), "*Basic Principles of Membrane Technology*", 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Purwaningsih, Indria. 1999. Pengaruh waktu detensi dan konsentrasi bahan organik terhadap tahapan proses anaerob dalam pengolahan molase menggunakan bioreaktor hibrid media bambu. Tesis Program pasca sarjana jurusan teknik lingkungan, Institut teknologi bandung.
- Wenten, I.G. 2000. Technology membrane industrial. Institut teknologi bandung. Bandung

Pengaruh Ukuran dan Jarak Nozel terhadap Perubahan Putaran Turbin Pelton

Rr. Sri Poernomo Sari dan Rizki Hario Wicaksono
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Gunadarma, Jakarta
Email: sri_ps@staff.gunadarma.ac.id

Abstract

The effects of nozzle spacing on pelton turbine blades can produce the best energy. The turbine blades shape, water discharge and water pressure coming out of the nozzles will give a good impulse. The goal of this study was to determine the influence of nozzle diameter and nozzle spacing changes to the turbine blades to produce the highest round. Characteristics of turbine blades with nozzle spacing variation can result in high efficiency. Pelton turbine has a runner diameter of 12.8 cm, the width of blade is 5 cm and 16 pieces with two kinds of nozzle size diameter of 6 mm and 8 mm. The experiments were performed with a variation of nozzle spacing, nozzle size and water discharge, ranging from low to high discharge. The experimental results show the relationship between the spin turbines with water discharge and the distance of the nozzle shown in the graph. Shape and diameter of the nozzle corresponding to the form of turbine blades can produce an optimal turbine performance.

Keywords : Pelton turbine, turbine blades, nozzle spacing, diameter of nozzle, water discharge

Pengembangan sumber energi yang dapat diperbaharukan semakin meningkat sebagai antisipasi makin berkurangnya sumber energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi dan batubara. Sumber energi yang dapat diperbaharukan di Indonesia menurut sumber asean energy salah satunya adalah mikrohidro yang memanfaatkan air sebagai sumber energi dari suatu turbin. Turbin air berperan untuk mengubah energi air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozel. Air keluar nozel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse) sehingga roda turbin akan berputar. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan *head* yang lebih tinggi. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Turbin Pelton merupakan turbin *impuls* yang terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien dan sesuai digunakan untuk *head* tinggi dan debit aliran yang kecil. Turbin Pelton mempunyai beberapa keuntungan antara lain efisiensi turbin yang relatif stabil pada berbagai perubahan debit aliran.

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah

sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nozel. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan mangkok sudu lebih kecil.

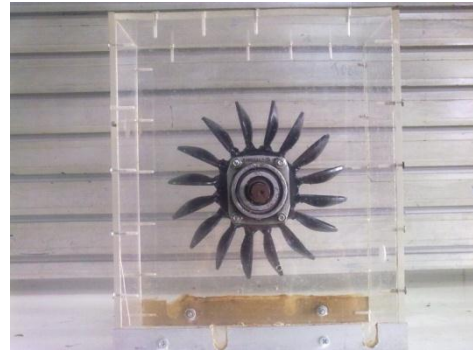
Tujuan studi ini adalah mengetahui pengaruh diameter nozel dan perubahan jarak nozel terhadap sudu turbin guna menghasilkan putaran tertinggi.

SETUP ALAT PENGUJIAN

Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin air yang prinsip kerjanya memanfaatkan energi potensial air menjadi energi listrik tenaga air (hydropower). Prinsip kerja turbin pelton adalah mengkonversi daya fluida dari air menjadi daya poros untuk digunakan memutar generator listrik. Air yang berada pada bak penampung dihisap oleh pompa dimana pompa berfungsi untuk menghisap dan memompa air untuk dialirkan ke sudu turbin. Namun aliran air tidak langsung mengarah ke sudu turbin melainkan harus melewati pipa-pipa saluran yang telah diberi katup buka tutup sehingga laju aliran air dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian katup-katup tersebut terhubung dengan saluran nozel dimana nozel berfungsi sebagai pemancar air yang dipancarkan langsung ke arah sudu turbin sehingga sudu turbin berputar. Pada sudu-sudu turbin, energi aliran air diubah menjadi energi mekanik yaitu putaran roda turbin. Apabila roda turbin dihubungkan dengan poros generator listrik, maka energi mekanik putaran roda turbin diubah menjadi energi listrik pada generator. Kemudian air yang telah digunakan untuk memutar sudu turbin jatuh kedalam bak penampung

untuk kembali ke tahap awal maka terjadilah sirkulasi.

Energi potensial air disemprotkan oleh nozel ke sudu untuk dirubah menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar poros generator. Nozel merupakan mekanisme pancaran yang berbentuk melengkung yang mengarahkan air sesuai dengan arah aliran yang direncanakan dan mengatur aliran air. Fungsi utama nozel adalah untuk mengubah tekanan air menjadi suatu kecepatan aliran yang digunakan untuk memutar *runner*. Bentuk nozel sangat mempengaruhi performa turbin.



Gb 2. *Runner* Turbin Pelton

Nozel mempunyai beberapa fungsi yaitu mengarahkan pancaran air ke sudu turbin, mengubah tekanan menjadi energi kinetik dan mengatur kapasitas air yang masuk turbin. Sudu turbin merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros sudu dimana aliran air yang disemprotkan oleh nozel ke arah sudu mengakibatkan daun-daun sudu terdorong dan berputar. Aliran air yang diarahkan langsung menuju sudu-sudu melalui pengarah atau nozel ini juga menghasilkan daya pada sirip. Selama sudu berputar, gaya bekerja melalui suatu jarak, sehingga menghasilkan kerja. Dalam proses ini energi ditransfer dari aliran air ke turbin.

Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nozel. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan mangkok sudu lebih kecil seperti pada gambar 4 di atas. Desain ini dibuat untuk mempermudah dalam proses perakitan sehingga dapat diketahui langkah-langkah yang harus dilakukan.



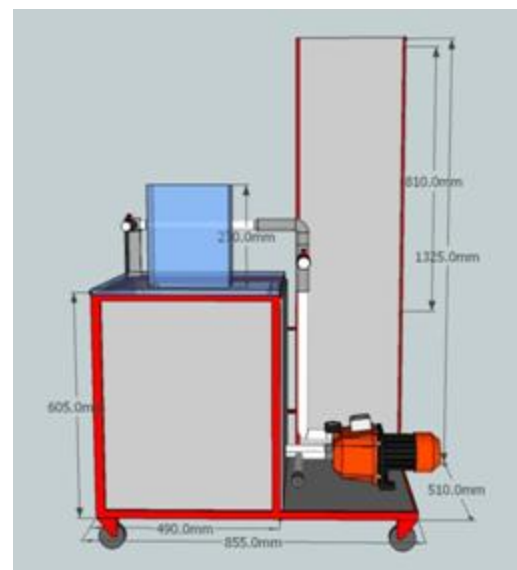
Gb 1. Nozel Turbin

Perancangan sebuah nozel turbin pelton dimulai dari menentukan ukuran *runner* dan sudu dengan menggunakan data yang telah ada setelah itu melakukan perhitungan diameter ujung nozel, kecepatan aliran air pada ujung nozel, panjang ujung nozel. Bahan yang digunakan untuk nozel turbin pelton ini adalah menggunakan paduan Aluminium. Dari tahap-tahap yang telah direncanakan tersebut, maka didapatkan ukuran nozel untuk turbin air pelton yang sesuai dengan yang diharapkan.

Ukuran nozel yang sesuai dapat memutar sudu lebih baik sehingga dapat meningkatkan efisiensi turbin. Dengan meningkatkan efisiensi turbin maka dapat meningkatkan energi yang dihasilkan sehingga turbin air mampu menghasilkan kerja yang optimal dengan menggunakan energi yang minimal.

Tabel 1. Ukuran Nozel

| | Ukuran Nozel (mm) | | | | | |
|----|-------------------|--------|------------|-----------|-------------|--------------|
| | P. Uj | P. Ttl | D. Uj Luar | D. Uj Dlm | D. Dlm Inti | D. Luar Inti |
| I | 26 | 81 | 16 | 6 | 12 | 24 |
| II | 26 | 81 | 16 | 8 | 14 | 24 |



Gb 3. Desain Perangkat Pengujian Turbin Pelton.

TEORI

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi aliran fluida, yaitu :

a. Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$Q = A v \quad (1)$$

Dimana :

- v = Kecepatan aliran (m/s)
- A = Luas penampang pipa (m²)
- Q = Debit aliran (m³/s)

Selain persamaan (1) di atas digunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Dimana :

- V = Volume aliran (m³)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- t = waktu aliran (s)

$$u = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Dengan :

- u = Kecepatan atau laju aliran (m/s)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- A = Luas penampang (m²)

b. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan (4) dimana nilai dari Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (v), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (d), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν).

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \quad (4)$$

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian pertama adalah mengukur volume air terhadap pengaruh diameter nozel dan derajat bukaan katup. Pada tahapan pengujian ini didapatkan perbedaan volume air dimana diameter nozel yang lebih besar menghasilkan volume air yang lebih banyak dibandingkan nozel dengan diameter yang lebih kecil.

Pengukuran putaran sudu dengan menggunakan tachometer dapat mengetahui pengaruh besar diameter nozel dan derajat bukaan katup. Tahap pengujian pada bukaan katup 90° didapatkan perbedaan putaran sudu dimana nozel yang memiliki diameter lebih besar dapat

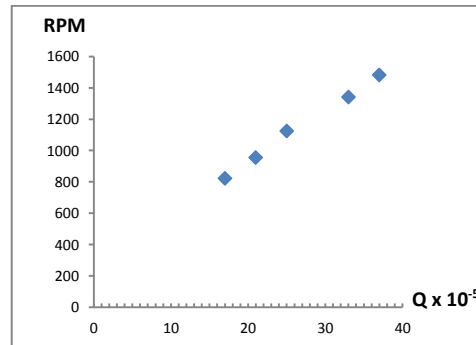
memutarakan sudu lebih cepat mencapai kurang lebih 1742 RPM dibandingkan dengan nozel yang memiliki ukuran diameter lebih kecil yang dapat memutarakan sudu hanya sebesar kurang lebih 1585.

Pengukuran diameter selang dilakukan pada diameter bagian dalam, sehingga akan didapatkan luas penampang (A) yang nantinya untuk menentukan diameter pipa yang akan digunakan. Setelah dilakukan pengukuran didapatkan diameter dalam selang sebesar 20 mm, sedangkan untuk diameter luar selang sebesar 22 mm.

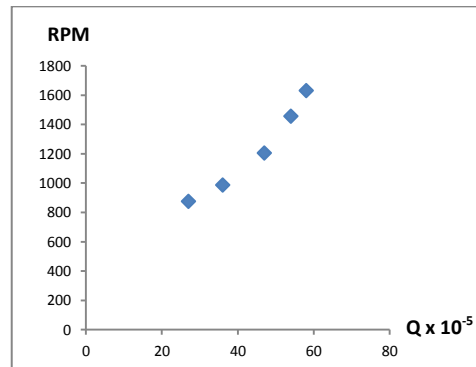
Penghitungan Data

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan dari persamaan (2) dimana dapat didefinisikan besarnya volume (V) persatuan waktu (t) sedangkan untuk kecepatan laju aliran dapat didefinisikan besarnya debit (Q) aliran yang mengalir persatuan luas penampang (A) seperti pada persamaan (3).

Debit aliran fluida didapatkan dari volume fluida yang diambil selama waktu tertentu. Waktu diukur dengan menggunakan *stopwatch* dalam satuan sekon (s) dan volume didapat menggunakan gelas ukur dari percobaan dalam satuan ml.



Gb 4. Grafik perbandingan debit air terhadap putaran sudu turbin pada diameter dalam 6 mm



Gb 5. Grafik perbandingan debit air terhadap putaran sudu turbin pada diameter dalam 8 mm

Dari data pengujian yang telah diolah untuk mencari debit aliran dan kecepatan aliran dapat dilihat bahwa semakin besar bukaan katup maka debit yang dihasilkan lebih besar, atau semakin besar bukaan katup maka volume fluida akan semakin tinggi per satuan waktu. Sementara untuk kecepatan aliran yang telah didapatkan dari pengolahan data dapat disimpulkan bahwa semakin besar bukaan katup, maka kecepatan aliran fluida akan cenderung meningkat. Kecepatan yang telah didapatkan akan mempengaruhi Bilangan Reynolds karena kecepatan aliran merupakan fungsi pembilang dalam Bilangan Reynolds sehingga semakin cepat aliran fluida yang mengalir di dalam pipa pengujian (pipa bulat) maka nilai bilangan Reynolds akan cenderung meningkat atau menunjukkan kecenderungan turbulen.

Penghitungan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (v), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (d), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν).

Tabel 2. Data Bilangan Reynolds

| Katup | T (°C) | d-in (m) | ν (m/s) | Re |
|-------|--------|----------|-------------|------|
| 50° | 30 | 0,02 | 0,052 | 1298 |
| 50° | 30 | 0,02 | 0,087 | 2172 |
| 50° | 30 | 0,02 | 0,138 | 3445 |
| 90° | 30 | 0,02 | 0,116 | 2897 |
| 90° | 30 | 0,02 | 0,181 | 4519 |
| 90° | 30 | 0,02 | 0,3 | 7492 |

dengan :

T = Temperatur fluida (°C)

d-in = Diameter dalam pipa (m)

ν = Kecepatan aliran fluida (m/s²)

ν = Viskositas kinematis = $8,009 \times 10^{-7}$ m²/s

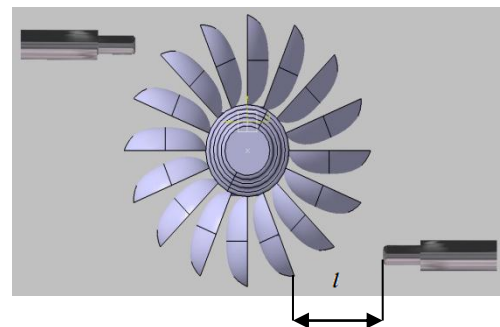
μ = Viskositas dinamis (Pa.s)

Re = Bilangan Reynolds

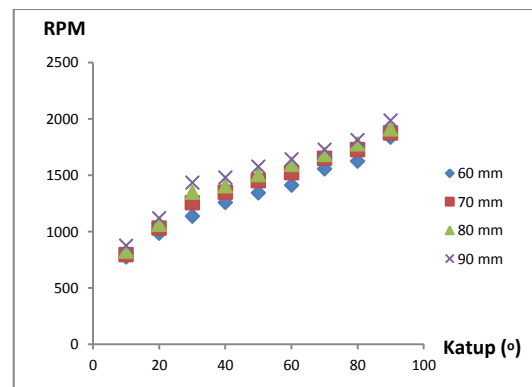
Nilai viskositas kinematis (ν) dan dinamis (μ) untuk air murni didapat dari fungsi temperatur fluida pada tabel sifat fisika air murni. Dari tabel 2 diatas untuk diameter pipa yang sama dapat dilihat Bilangan Reynolds cenderung meningkat karena dipengaruhi peningkatan kecepatan aliran fluida. Hal ini menunjukkan semakin terjadi peningkatan kecepatan aliran fluida, maka aliran dalam pipa akan cenderung turbulen. Sedangkan semakin terjadi penurunan kecepatan aliran fluida, aliran tersebut akan cenderung laminar. Dalam pengujian ini kecepatan aliran (ν) yang berfungsi sebagai pembilang di dalam Bilangan Reynolds sangat mempengaruhi karakteristik dari aliran fluida yang mengalir di dalam pipa pengujian. Selain itu transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen tentunya juga merupakan fungsi dari bilangan Reynolds .

Jarak tembak antara nozel terhadap daun sudu juga dapat mempengaruhi kecepatan putar sudu turbin. Penempatan titik jarak yang tepat antara nozel dengan daun sudu maka dapat meningkatkan efisiensi turbin sehingga didapatkan putaran yang maksimal. Dengan mengetahui titik optimum dari jarak nozel terhadap daun sudu dapat meningkatkan putaran runner menjadi lebih cepat karena titik jatuhnya pancaran nozel tepat mengenai daun sudu dan tidak terpecah karena salah satu fungsi utama nozel adalah dapat mengarahkan pancaran aliran air tepat mengenai daun sudu. Berikut hasil data yang didapatkan dari hasil uji coba yang telah dilakukan

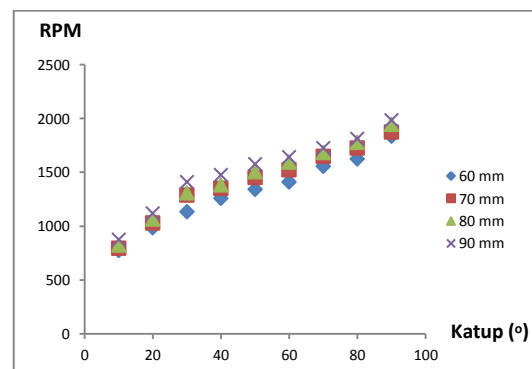
Pengaruh jarak nozel terhadap sudu turbin (l)



Gb 6. Skema jarak antara nozel terhadap runner



Gb 7. Grafik pengaruh jarak pada nozel diameter ujung dalam 6mm



Gb 8. Grafik pengaruh jarak pada nozel diameter.ujung dalam 8 mm

Dari hasil pengamatan pada gambar 7 dan 8 diatas dapat disimpulkan bahwa perbedaan jarak antara nozel dengan daun sudu dapat mempengaruhi kecepatan putar sudu turbin. Pada gambar diatas terlihat bahwa titik optimum nozel diameter 6 mm berada pada jarak 80 mm, sedangkan untuk nozel berdiameter 8 mm jarak optimum terletak pada jarak 70 mm. Jarak antara *runner* dengan nozel yang terlalu dekat dapat memecah aliran sehingga pancaran air tidak tepat atau tidak fokus. Selain itu jarak antara nozel terhadap *runner* menentukan titik jatuhnya aliran air, karena itu nozel harus memiliki jarak yang tepat agar sudu turbin dapat menerima impuls dengan baik.

3. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Diameter nozel yang lebih besar menghasilkan volume air yang lebih banyak dibandingkan nozel dengan diameter yang lebih kecil. Sehingga dapat disimpulkan nozel yang berdiameter lebih besar dapat menghasilkan volume air yang besar yaitu $0,00056 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Perbedaan putaran sudu dimana nozel yang memiliki diameter lebih besar dapat memutar sudu lebih cepat mencapai kurang lebih 1742 RPM pada bukaan katup 90° dibandingkan dengan nozel yang memiliki ukuran diameter lebih kecil yang dapat memutar sudu hanya sebesar kurang lebih 1585 RPM pada bukaan katup yang sama.
- Dari data pengujian yang telah diolah untuk mencari debit aliran dan kecepatan aliran dapat dilihat bahwa semakin besar bukaan katup maka debit yang dihasilkan lebih besar, atau dengan kata lain semakin besar bukaan katup maka volume fluida akan semakin tinggi per satuan waktu. Dalam pengujian ini ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengambilan data untuk menentukan debit aliran seperti, ketepatan pengambilan volume dengan gelas ukur agar dalam proses penampungan tidak ada air yang tumpah dan ketepatan pengambilan waktu penampungan.
- Semakin besar bukaan katup, maka kecepatan aliran fluida akan cenderung meningkat. Kecepatan yang telah didapatkan akan mempengaruhi Bilangan Reynolds karena kecepatan aliran merupakan fungsi pembilang dalam Bilangan Reynolds, sehingga semakin cepat aliran fluida yang mengalir di dalam pipa pengujian (pipa bulat) maka nilai bilangan Reynolds akan cenderung meningkat atau menunjukkan kecenderungan turbulen pada saat Bilangan Re mencapai 4519 keatas.
- Bilangan Reynolds cenderung meningkat karena dipengaruhi peningkatan kecepatan aliran

fluida. Hal ini menunjukkan semakin terjadi peningkatan kecepatan aliran fluida, maka aliran dalam pipa akan cenderung turbulen. Dalam pengujian ini kecepatan aliran (v) di dalam Bilangan Reynolds sangat mempengaruhi karakteristik dari aliran fluida yang mengalir di dalam pipa pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robert D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, 1984
- [2] Victor I, Streeter, *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, Inc. 1985.
- [3] Reuben M. Olso, Steven . Wraight. *Essentials of Engineering Fluid Mechanics*. Harper & Row Publisher , inc, 1990
- [4] David G. Ullman, *The Mechanical design Process*, Mc Graw hill international Editions, 1992
- [5] Fritz Dietzel, Dakso Sriyono, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2006
- [6] EBARA Hatakeyama Memorial Fund, Ebara Corporation, Tokyo, Japan.
- [7] Zhou Wen-tong, Zhou Xiao-quan, *Design of the Pelton Turbine Runner*, Runner Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2008.
- [8] Fu Jie, Song Wenwul Z.M, Yang Zuowei, Yao Wen ge, *Research on Internal Flow of Multi-nozzle Pelton Turbine*, Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008.
- [9] A. Perrig, F. Avellan, JL. Kueny, M. Farhat, *Flow in a Pelton Turbine Bucket : Numerical and Experimental Investigation*, Transaction of the ASME, Vol. 128, March 2006.

Benefit Cost Analsis of Using Landfill Gas for Bus (Case Study of Pancoran Mas Landfill, Depok)

Farizal¹, Agustino Zulys²

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia, Kampus Baru UI Depok 16424. Email: farizal@ie.ui.ac.id

² Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Sciences, University of Indonesia, Kampus Baru UI Depok 16424. Email: agustinozulys@yahoo.com

ABSTRACT

This study, conducted from economic and environment perspective, analyzes the availability and the prospect of Pancoran Mas Depok landfill (TPAPM) gas to use as the fuel of Jakarta buses. TPAPM collects 1,200 m³ of waste per day. The result shows that the internal rate of return (IRR) for the landfill life time of 20 years and the discount rate of 12% is 8%. The result means that the utilization is profitable and thus the project is attractive to do

Keyword: sanitary landfill, natural gas, benefit cost analysis

PENDAHULUAN

Setiap aktivitas manusia akan menghasilkan sampah. Semakin banyak aktivitas yang dilakukan, semakin banyak pula sampah yang dihasilkan. Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup (SLHI, 2008), massa sampah di Indonesia telah meningkat hingga 2-4% setiap tahun. Di kota besar seperti Jakarta, Bandung, dan Surabaya laju pertumbuhannya bahkan lebih signifikan, massa sampah tumbuh hingga 29% per tahun. Tanpa pengelolaannya yang baik, sampah akan menjadi masalah serius bagi kehidupan manusia.

Sampah yang tertimbun dapat menghasilkan dan mengeluarkan *landfill gas* akibat proses anaerob. Gas yang dihasilkan dari tempat pembuangan sampah sebagian besar terdiri dari metana, bersama komponen seperti karbon dioksida (CO₂). Apabila tidak dikelola dengan baik, gas semacam ini dapat menimbulkan masalah bau yang tidak sedap, membunuh vegetasi, dan pada beberapa kasus menimbulkan ledakan. Jenis ledakan ini pernah terjadi di Leuwigajah pada tahun 2005 dan membunuh ratusan orang. Selain itu, metana adalah gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang tinggi, yaitu 21 kali CO₂.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah gas sampah tersebut menjadi energi (*waste to energy project*). Metana merupakan komponen utama gas alam, sumber energi alami yang lebih padat energi dan pembakaran bersih dibanding sumber bahan bakar fosil lainnya. Mengingat kesamaan dalam komposisi mereka, LFG dapat menjadi sumber gas alam yang layak, setelah dimurnikan untuk menghilangkan komponen tertentu yang tidak diinginkan. Gas ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, secara kolektif seperti: konversi ke listrik, digunakan sebagai pipa gas alam, atau digunakan sebagai bahan bakar kendaraan.

Zietsman (2009) menemukan bahwa pemanfaatan LFG sebagai bahan bakar kendaraan

lebih bernilai ekonomis dibandingkan untuk produksi listrik dan pembakaran. Gas juga diyakini sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain itu pemanfaatannya dari limbah sampah menjadikan LFG sebagai salah satu potensi energi terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap energi fosil, seperti minyak bumi dan gas alam.

Transportasi di Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil. Konsumsi bahan bakar minyak untuk sektor transportasi mencapai 46% dari total konsumsi minyak nasional. Permintaan ini terus meningkat dengan pertumbuhan 12,7% per tahun (Kementerian ESDM, 2007). Penggunaan bahan bakar fosil yang terus menerus ini dapat mengancam ketahanan energi nasional, selain itu juga menimbulkan masalah lingkungan, seperti emisi karbon, pencemaran udara, dan ancaman kesehatan.

Pemanfaatan LFG sebagai bahan bakar kendaraan dapat menjadi solusi alternatif bagi permasalahan masyarakat urban tersebut. Pertama, pemanfaatan LFG dapat mendorong pengelolaan sampah yang lebih baik sehingga mereduksi dampak negatifnya pada lingkungan. Kedua, pemanfaatan LFG sebagai bahan kendaraan dapat mereduksi emisi karbon pada sektor transportasi yang merupakan penyumbang polusi terbesar pada masyarakat urban. Ketiga, pemanfaatan LFG sebagai energi terbarukan dapat membantu meningkatkan ketahanan energi nasional. Keempat, pemanfaatan LFG ini berpotensi mendorong tumbuhnya unit ekonomi baru di masyarakat, sehingga secara tidak langsung membantu masalah pengangguran dan kemiskinan di masyarakat urban.

Penelitian ini bermaksud melakukan kajian tekno-ekonomi terhadap pemanfaatan LFG sebagai bahan bakar kendaraan dengan menggunakan metode *benefit and cost analysis*. Kajian yang dilakukan menyangkut keekonomian konversi LFG menjadi LNG/CNG, potensi produksi dan pangsa pasar LFG, keekonomian penggunaan sebagai bahan

bakar kendaraan, serta kajian dampak lingkungan terhadap pemanfaatan LFG tersebut di masyarakat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlandaskan teori tentang indikator profitabilitas. Indikator profitabilitas menunjukkan tingkat menariknya suatu keputusan investasi dari sudut pandang investor (Canada, et al 1996). Keputusan investasi adalah suatu keputusan yang berkaitan dengan pengadaan aktiva tetap pada masa sekarang untuk memperoleh serangkaian keuntungan dalam jangka panjang di masa datang, yang melibatkan penggunaan sumber daya dan dana yang besar yang dapat menimbulkan implikasi jangka panjang di masa yang akan datang. Karena ada kesenjangan antara masa sekarang dan masa yang akan datang, maka dalam menilai kelayakan usulan investasi diperlukan suatu indikator yang dapat menjembatani perbedaan antara nilai uang pada masa yang akan datang dengan nilai uang pada masa sekarang, yang disebut *Profitability Indicator*, yang berbasis pada *present value of money*.

Net present value (NPV) dari sebuah proyek investasi adalah perbedaan antara total *cash flow* yang per masing-masing satuan waktunya telah diubah ke kondisi *present value* dengan investasi yang telah dikururkan. NPV diukur dengan menjumlahkan semua *cash flow* sepanjang waktu dari periode nol atau yang disebut investasi (bernilai negatif) hingga periode terakhir. Dimana telah dijelaskan bahwa sebelumnya nilai-nilai pada *cash flow* tersebut diubah nilainya ke nilai uang di periode nol atau yang dikenal dengan present value dengan menggunakan tingkat ketidakpastian di masa depan sebagai patokan dalam mencari nilai setimbang dari nilai yang ada di masa sekarang.

$$NPV = I + \sum_{n=1}^n \left(\frac{An}{L(1+r)^n} + \frac{Vn}{L(1+r)^n} \right) \quad (1)$$

dimana:

I : investasi

r : rate of return yang diharapkan

An: cash flow / proceed

n : nilai ekonomis dari investasi

Vn: nilai residu dari investasi pada akhir periode ekonomis

Jika metode NPV menghasilkan jumlah yang positif, maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa investasi tersebut telah mencapai kondisi yang menguntungkan.

Internal rate of return (IRR) adalah sebuah persentase peningkatan nilai uang yang terkandung dalam *cash flow* yang berjalan. IRR dapat diartikan juga sebagai discount rate yang menghasilkan NPV sama dengan nol.

$$IRR = \frac{An}{(1+r)^n} \quad (2)$$

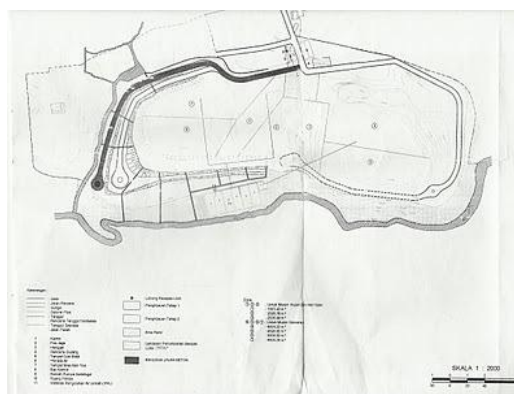
Pada umumnya pengambilan keputusan investasi berdasarkan NPV dan IRR akan memberikan hasil yang sama, artinya apabila suatu

usulan investasi dinilai layak berdasarkan NPV, maka usulan investasi tersebut juga layak dinilai berdasarkan IRR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tempat pembuangan akhir sampah Pancoran Mas (TPAPM) seperti umumnya landfill di Indonesia merupakan open dumping landfill. Artinya TPA tersebut adalah TPA terbuka dimana sampah dibuang dan ditumpuk pada lokasi tersebut. Akibatnya TPA mengganggu lingkungan seperti menjadi sumber bau yang tidak menyenangkan, tempat berkumpulnya hewan yang menjadi host penyakit menular dan merusak ekosistem sekitar terutama tanah dan air. Meskipun Pancoran Mas merupakan *open dumping landfill*, tetapi TPA telah dilengkapi dengan penggunaan semipermeable plastic sehingga air lindi yang dihasilkan dapat dikumpulkan pada kolam penampung untuk ditangani lebih lanjut.

TPAPM memiliki 3 kolam penampungan sampah yang memiliki kedalaman 15 meter. Saat ini TPAPM menerima sebanyak 1,200 m³ per hari dari total produksi sampah di kota Depok yang sebesar 4,500 m³. Artinya TPA tersebut hanya mampu menampung sekitar 25% sampah masyarakat. Sampah yang dibuang pada TPA kebanyakan berasal dari sampah rumah tangga di Depok yang berjumlah 250,000 rumah. Saat ini TPAPM yang dibuka tahun 1998 dan mulai resmi digunakan pada tahun 2000 tersebut, mengingat daya tampungnya yang terbatas sedangkan jumlah sampah yang dibuang jauh melebihi kapasitas, dua dari tiga kolam penampungannya terisi penuh. *Bird view* TPA Pancaoran Mas dapat dilihat pada gambar 1 di bawah.



Gambar 1: Bird view TPA Pancoran Mas

Pada penelitian ini, Kolam C adalah objek penelitian yang akan dianalisis potensinya untuk digunakan sebagai bahan bakar kendaraan umum. Kolam C yang memiliki luas paling kecil dibanding dua kolam lainnya telah ditutup sejak bulan May 2011. Kolam ini digunakan pertama kalinya pada bulan November 2010. Hanya dalam waktu lebih kurang 6 bulan kolam penampungan ini penuh dan ditutup. Tinggi kolam C adalah 2 meter di atas

permukaan tanah dengan kedalaman 11 meter. Kolam C dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2: Kolam C TPA Pancoran Mas

Perhitungan Produksi Gas Metan

Jumlah metan yang dihasilkan sangat memengaruhi komponen biaya dan benefit dari *Sanitary landfill*. Perhitungan metan yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan pendekatan dari U.S Environmental Protection Agency's (US EPA, 2007). Perhitungan jumlah metan yang dihasilkan pada tahun pertama adalah sebagai berikut:

$$Qt = 2 * L_o * m_o * (e^{k*t} - 1) * e^{-k*t}$$

Dimana:

Q_t : Jumlah gas yang diproduksi pada tahun ke t (m^3/thn)

L_o : Potensi nilai metan yang diproduksi (m^3/thn) = 68

m_o : Rata-rata jumlah sampah padat yang ditimbun (m^3/thn) = 81600

k : Konstanta rata-rata metan yang dihasilkan per tahun = 0.301528

t : Umur landfill (tahun)

t_a : Total tahun aktif landfill (tahun) = 1

Produksi gas metan untuk Kolam C TPAPM dapat dilihat pada table 1 dibawah.

Tabel 1. Produksi Gas Metan

| Tahun Ke | CH4 yang dihasilkan (mcf/tahun) |
|----------|---------------------------------|
| 1 | 24.823,66 |
| 2 | 12.411,83 |
| 3 | 8.274,55 |
| 4 | 6.205,92 |
| 5 | 4.964,73 |
| 6 | 4.137,28 |
| 7 | 3.546,24 |
| 8 | 3.102,96 |
| 9 | 2.758,18 |
| 10 | 2.482,37 |
| 11 | 2.256,70 |
| 12 | 2.068,64 |
| 13 | 1.909,51 |
| 14 | 1.773,12 |

| | |
|----|----------|
| 15 | 1.654,91 |
| 16 | 1.551,48 |
| 17 | 1.460,22 |
| 18 | 1.379,09 |
| 19 | 1.306,51 |
| 20 | 1.241,18 |

Untuk mengevaluasi tingkat *attractiveness* pemanfaatan *landfill gas* untuk bahan bakar bus, komponen biaya dan manfaat yang diperhitungkan adalah sbb:

1. Biaya pembangunan fasilitas *Sanitary landfill* yang terdiri dari biaya instalasi, *capping*, dan fasilitas pemurnian gas. Masing-masing biaya besarnya adalah 319.680 juta, 216 juta, dan 4 milyar 50 juta rupiah.
2. Biaya operasional *sanitary landfill* dan kendaraan bus, masing-masing sebesar 54.6 juta dan 65 juta rupiah.
3. Biaya alat converter untuk bus yang digunakan sebesar 100 juta rupiah
4. *Benefit* dari pemanfaatan gas metan sebagai bahan bakar pengganti diesel.
5. *Benefit* dari pengurangan emisi karbon akibat pemanfaatan gas metan pada *Sanitary landfill*.
6. *Benefit* dari pengurangan emisi karbon akibat penggunaan bahan bakar gas sebagai pengganti Diesel pada kendaraan bus.

Besaran *benefits* yang dapat diperoleh ditabulasi pada table 2 dibawah.

Tabel 2 *Benefits* Pemanfaatan *Landfill Gas*

| Th ke | <i>Benefit</i> (Rp) | | |
|-------|---------------------|---------------|----------------|
| | Produksi Gas | Metan Capture | Reduksi Emisi |
| 1 | 3.127.309.082,88 | 1.404.982.394 | 263.521.762,52 |
| 2 | 1.563.654.541,44 | 702.491.197 | 131.760.881,26 |
| 3 | 1.042.436.360,96 | 468.327.464,6 | 87.840.587,51 |
| 4 | 781.827.270,72 | 351.245.598,5 | 65.880.440,63 |
| 5 | 625.461.816,58 | 280.996.478,8 | 52.704.352,50 |
| 6 | 521.218.180,48 | 234.163.732,3 | 43.920.293,75 |
| 7 | 446.758.440,41 | 200.711.770,6 | 37.645.966,07 |
| 8 | 390.913.635,36 | 175.622.799,2 | 32.940.220,32 |
| 9 | 347.478.786,99 | 156.109.154,9 | 29.280.195,84 |
| 10 | 312.730.908,29 | 140.498.239,4 | 26.352.176,25 |
| 11 | 284.300.825,72 | 127.725.672,2 | 23.956.523,87 |
| 12 | 260.609.090,24 | 117.081.866,2 | 21.960.146,88 |
| 13 | 240.562.237,14 | 108.075.568,7 | 20.270.904,81 |
| 14 | 223.379.220,21 | 100.355.885,3 | 18.822.983,04 |
| 15 | 208.487.272,19 | 93.665.492,9 | 17.568.117,50 |
| 16 | 195.456.817,68 | 87.811.399,6 | 16.470.110,16 |
| 17 | 183.959.357,82 | 82.646.023,2 | 15.501.280,15 |
| 18 | 173.739.393,49 | 78.054.577,5 | 14.640.097,92 |
| 19 | 164.595.214,89 | 73.946.441,8 | 13.869.566,45 |
| 20 | 156.365.454,14 | 70.249.119,7 | 13.176.088,13 |

KESIMPULAN

NPV dan IRR dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (1) dan (2) dengan memasukkan seluruh komponen biaya dan manfaat. Hasilnya diperoleh NPV dan IRR sebesar, masing-masing Rp. 1.090.726.222,29 dan 8%. Hal ini menunjukkan proyek pembangunan *sanitary landfill* di TPA Pancoran Mas, Depok adalah ekonomis sehingga layak direalisasi pembangunannya. Catatan bahwa analisis yang dilakukan belum memasukkan faktor insentif fiskal dan keringanan pajak yang diberikan pemerintah terhadap pengembangan energi baru dan terbarukan dan penggunaan teknologi maju. Bila kedua factor tersebut dimasukkan dalam analisis maka NPV dan IRR yang diperoleh akan lebih tinggi sehingga menambah *attractiveness* dari proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia lewat Hibah Program Insentif Riset Terapan Tahun 2011. Peneliti berterima kasih atas *support* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Canada, Sullivan and White. 1996. *Capital Investment Analysis for Engineering and Management, 2nd ed.*, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2007. *Key Indicator of Indonesia Energy and Mineral Resources*. Centre for Data and Information on Energy and Mineral Resources. Indonesia.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2008. *Status Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta.
- Longsor TPA Leuwigajah, Tragedi Tak Terlupakan (online), (<http://www.pikiran-rakyat.com>, accessed on August 16, 2010)
- United State Environmental Protection Agency. 2007. *Report of the Pump Test and Pre-Feasibility Study for Landfill Gas Recovery and Utilization at the Deonar Lanfill Mumbai, India*. DC, USA
- United State Environmental Protection Agency. 2011. *Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Emissions from Municipal Solid Waste Landfills*. NC, USA
- Zietsman, J. 2009. *Prefeasibility Analysis for the Conversion of Landfill Gas to Liquefied Natural Gas to Fuel Refuse Trucks in India*. Texas Transportation Institute. USA

Pengaruh Sudut Belokan *T-Junction* terhadap Efisiensi Pemisahan *Kerosene-Water* dengan Diameter Sama

Kemas Ridhuan

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara NO. 116 Metro Timur Kota Metro
Email: kmsridhuan@yahoo.co.id

Abstract

Attempts to separate a mixture of liquid-liquid (*kerosene-water*) as a function of alternative replacement vessel as a separator of two phases, namely by using the *T-Junction*. Research on the *T-junction* as a separator is still being developed, especially regarding the flow of liquid-liquid to obtain an efficient geometric shapes. Has done research on the effects of *T-Junction* turn angle of *kerosene-water* separation efficiency using the *T-junction* with the vertical or horizontal of the side arm bends up with different angles of 30°, 60° and 90°. Diameter pipe used same 1,5 inch, horizontally and vertically, of the material plexyglass. Variable that is measured, *kerosene* and *water* flow out through the side arm and run arm on *kerosene* superficial velocity and *water* (*water*) as the test matrix. To direct the flow into the side arm *kerosene* then do the settings in the flow resistance through the valve at the down stream at a pressure of 550.7 Pa and 1559.8 Pa and 2018.3 Pa. Based on the visualization and measurement data produce a good phase separation occurs in the bend angle 60°, *water cut* 58%, *J_{mix}* 0,32 m/s and a maximum separation efficiency of 99% which occurred in the bend angle 60°, 58% *water cut*, *J_{mix}* 0,36 m/s and the lowest efficiency occurs at an angle of 30° with 85% efficiency. And an angle of 90° to be 97% efficiency.

Keywords: *T-Junction*, Efficiency, *Kerosene-Water*

Pendahuluan

Pada industri pengolahan minyak, dimana proses pengeboran material yang terkandung dalam minyak mentah (*crude oil*) terdiri dari air, gas dan minyak, ketiga komponen tersebut perlu dipisahkan melalui proses pemisahan sehingga dihasilkan minyak bersih. Juga tumpahan minyak yang sering terjadi diperairan yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan.

Pemisahan yang banyak dilakukan yaitu dengan menggunakan separator. Separator merupakan suatu bejana bertekanan (*pressure vessel*) yang digunakan untuk proses pemisahan. Efektifitas dari sebuah separator selain tergantung kepada ukuran yang tepat, juga dipengaruhi dengan peralatan dalam yang dipasang untuk memberikan efektifitas pemisahan. Namun disisi lain penggunaan separator selain membutuhkan biaya yang besar dan tempat yang luas, ditinjau dari keamanan pengoperasiannya perlu juga diperhitungkan terhadap resiko akan terjadinya kebakaran.

Cara lain yang dapat dilakukan yaitu menggunakan konstruksi perpipaan dengan melalui *T-junction*. Dimana pada *T-Junction* terdapat tiga sisi yaitu inlet, run arm dan side arm. Ketika aliran dua fase mengalir melalui inlet *T-junction* terjadi

distribusi tidak merata terhadap kualitas campuran sisi keluar run arm (cabang horizontal) dan side arm (cabang vertical) dari *T-junction*. (Yang dkk. ; 2006). Distribusi tidak merata dari aliran fluida tersebut berdampak pula pada parameter lain seperti pola aliran dan gradien tekanan / penurunan tekanan pada sisi inlet ke run arm (P_{12}) dan sisi inlet ke side arm (P_{13}) (Gunawan ; 2009).

(Ega Taqwali Berman ; 2009) dengan sudut *T-Junction* 30°, 45°, 60° dan 90°. Diameter pipa 1" dan 0,5". Efisiensi pemisahan yang tinggi terjadi pada sudut *T-junction* 45° untuk *water cut* 42% dan $J_{mix} = 0,35$ m/s, yaitu sebesar 96 % dan fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,55 dengan kualitas *kerosene* di inlet sebesar 0,52. Semakin tinggi nilai *water cut* maka efisiensi pemisahan fase yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Parameter lain yang selalu digunakan pada dua fluida yang tidak dapat bercampur adalah *water cut*, yaitu fraksi volume air di dalam aliran (Rodrigues dan Oliemans ; 2005). Jika dua fase mengalir di side arm terpisah secara berurutan, maka terjadi pemisahan fase secara ideal. *Kerosene* akan dominan berada di side arm jika titik datanya terletak di bagian bawah garis diagonal, dan *water* akan lebih dominan jika titik datanya berada di bagian atas garis diagonal (Wang Li dan Yang ; 2007). Untuk hal

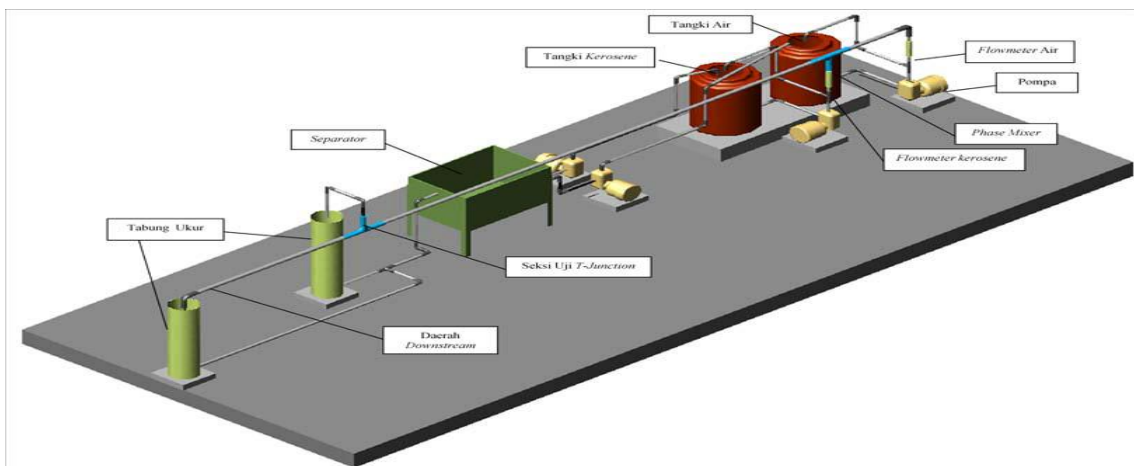
tersebut, ada dua garis data untuk pemisahan ideal. Garis data pertama untuk pemisahan ideal adalah jika fraksi yang masuk ke side arm meningkat, yaitu pada absisnya, dan garis kedua adalah garis vertikal yang berhadapan dengan ordinatnya. (Yang L, dan B.J. Azzopardi A ; 2007).

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan tiga variasi sudut *T-junction* masing-masing sudut 30°, 60° dan 90°. Satu variasi sudut *T-junction* dilakukan dengan tiga variasi hambatan aliran *downstream* yaitu pada hambatan tekanan *downstream* $Pd_1 = 550,7$ Pa, pada tekanan $Pd_2 = 1559,8$ Pa, dan pada tekanan $Pd_3 = 2018,3$ Pa. Fluida kerja yang digunakan adalah *kerosene* dan water. Pengukuran dilakukan sebanyak

49 data untuk setiap pengaturan hambatan aliran *downstream*, dengan besarnya kecepatan *superficial water* (J_w) dan kecepatan *superficial kerosene* (J_k) yang dialirkan dalam seksi uji diatur menggunakan *flowmeter*. Kisaran nilai $J_k = 0,10$ m/s - 0,22 m/s dan $J_w = 0,10$ m/s - 0,40 m/s dibuat dalam bentuk matrik tes penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Jika dilihat dari besarnya fraksi volume air (*water cut*) yang mengalir didalam pipa, pengukuran dilakukan mulai dari $\epsilon_w = 31\%$ - 80% dan kecepatan *superficial* campuran divariasikan pada kisaran nilai $J_{mix} = 0,20$ m/s - 0,62 m/s. Variabel yang diukur adalah debit aliran yang keluar dari *side arm* dan *run arm*.

Skema Peralatan Pengujian



Gambar 1. Instalasi peralatan pengujian

Prosedur Pengujian

1. *Kerosene* terlebih dahulu dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran, selanjutnya air dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran sehingga *kerosene* dan air akan bercampur di dalam pencampur.
2. Setelah *kerosene* dan air bercampur di dalam pencampur, kemudian debit aliran keduanya diatur dengan menggunakan *flowmeter* dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian.
3. Aliran campuran kemudian mengalir menuju seksi uji dan kemudian dilakukan visualisasi terhadap pola aliran pada sisi *inlet* dari *T-junction*.
4. Aliran fluida campuran yang telah melewati seksi uji *T-Junction*, aliran yang ke *run arm* akan masuk ke gelas ukur, lalu diukur air dan *kerosene*-nya berapa cm^3 . Begitu juga aliran

yang melalui *side arm* diukur juga air dan *kerosene*-nya berapa cm^3 .

5. Selanjutnya aliran yang keluar dari kedua gelas ukur tadi akan memasuki *separator*. Di *separator* ini fluida *water* dan *kerosene* akan dipisahkan.

Tabel 1. Matriks tes penelitian

| No | Kecepatan superficial air J_w (m/s) | Kecepatan superficial kerosene J_k (m/s) |
|----|---------------------------------------|--|
| 1 | 0,0875 | 0,0843 |
| 2 | 0,1475 | 0,1098 |
| 3 | 0,2084 | 0,1412 |
| 4 | 0,2558 | 0,1857 |
| 5 | 0,3222 | 0,2040 |
| 6 | 0,3893 | 0,2305 |
| 7 | 0,4086 | 0,2737 |

| | | |
|---|--------|--------|
| 8 | 0,4716 | 0,2900 |
| 9 | 0,5212 | 0,3359 |

- Setelah terpisah *kerosene* dan *water* kemudian dipompakan kembali ke tangki penampungan untuk digunakan lagi pada pengambilan data selanjutnya.
- Aliran fluida campuran yang sudah selesai diamati selanjutnya dipisahkan di *separator*, setelah terpisah *kerosene* dan air kemudian dimasukkan kembali ke tangki penampungan untuk digunakan lagi pada pengambilan data selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Efisiensi Pemisahan Fase

Untuk mengidentifikasi kondisi pemisahan fase yang optimal, data pemisahan diplot berdasarkan perbandingan efisiensi pemisahan fase (η) dan fraksi massa terpisahkan (F_m). Efisiensi pemisahan fase disajikan pada kondisi *water cut* 58%, 64% dan 71%. Grafik efisiensi pemisahan fase yang terjadi pada sudut *T-junction* 30°, 60° dan 90°. Besarnya nilai efisiensi pemisahan tertinggi yang dicapai oleh masing – masing radius belokan ditunjukkan oleh tabel 2. di bawah ini.

Hasil Efisiensi Pemisahan Fase Pada sudut 30°

Efisiensi pemisahan fase untuk sudut *T-junction* 30°. Puncak efisiensinya sebesar 94%, yaitu dengan fraksi massa terpisahkan sebesar 0,38 dan kualitas *kerosene* di *inlet* sebesar 0,39. Kondisi ini terjadi pada *water cut* 58%, $J_{mix} = 0,32$ m/s atau ($J_w = 0,20$ m/s dan $J_k = 0,12$ m/s) dan tekanan hambatan *downstream* sebesar 550,7 Pa. Untuk semua *water cut* dan kecepatan *superficial* campuran yang mendekati sama ($J_{mix} = 0,32$ m/s - 0,35 m/s) menunjukkan puncak efisiensi yang mendekati sama sekitar 91% - 96%, terjadi pada hambatan *downstream* sebesar 550,7 Pa.

Hasil Efisiensi Pemisahan Fase Pada Sudut 60°

Efisiensi pemisahan fase untuk sudut belokan 60°. Puncak efisiensinya sebesar 99 % ada dua,yaitu dengan fraksi massa terpisahkan sebesar 0,42 dan kualitas *kerosene* di *inlet* sebesar 0,42. Kondisi ini terjadi pada *water cut* 58 %, $J_{mix} = 0,36$ m/s atau ($J_w = 0,20$ m/s dan $J_k = 0,16$ m/s) dan tekanan

hambatan *downstream* sebesar 550,7 Pa. Dan efisiensi 98% pada kondisi *water cut* 71 % dengan fraksi massa terpisahkan sebesar 0,33 dan kualitas *kerosene* di *inlet* sebesar 0,33. Dan tekanan hambatan *downstream* sebesar 550,7 Pa. $J_{mix} = 0,35$ m/s atau ($J_w = 0,25$ m/s dan $J_k = 0,10$ m/s).

Hasil Efisiensi Pemisahan Fase Pada Sudut 90°

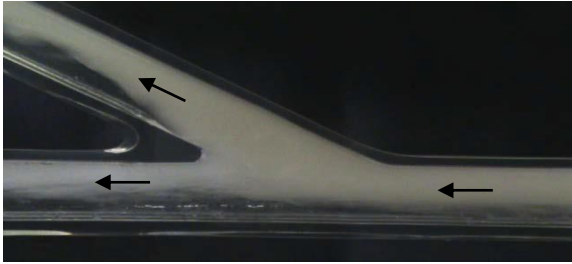
Efisiensi pemisahan fase untuk sudut belokan 90°. Puncak efisiensinya sebesar 97% dengan fraksi massa terpisahkan sebesar 0,43 dan kualitas *kerosene* di *inlet* sebesar 0,43. Kondisi ini terjadi pada *water cut* 58%, $J_{mix} = 0,36$ m/s atau ($J_w = 0,20$ m/s dan $J_k = 0,16$ m/s) dan tekanan hambatan *downstream* sebesar 550,7 Pa. Kemudian efisiensi yang sama yaitu 96% terjadi pada *water cut* 64% dan 71%.

Pembahasan

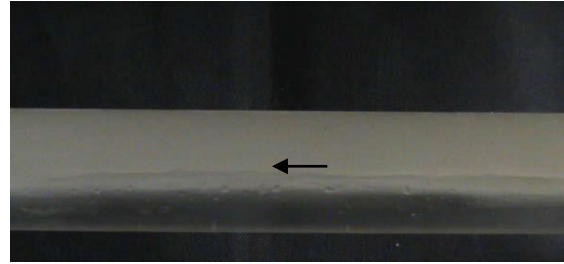
Nilai efisiensi pemisahan tertinggi untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan di *T-junction* dikondisikan supaya nilainya mendekati kualitas *kerosene* di *inlet*. Dari ketiga variasi sudut belokan efisiensi tertinggi sebesar 99% dengan fraksi massa terpisahkan sebesar 0,42 dan kualitas *kerosene* di *inlet* sebesar 0,42 terjadi pada sudut 60°, *water cut* 58%. Dan efisiensi tertinggi kedua pada sudut 90° dengan 97% pada 58% *water cut*. Untuk sudut 30° dengan efisiensi tertinggi 94% pada *water cut* 58%. Terlihat bahwa semakin rendah *water cut* semakin tinggi puncak efisiensi pemisahan fase yang dicapai. Jika dilihat titik data pada semua variasi sudut belokan, data yang berada pada garis pemisahan ideal pertama dan garis pemisahan ideal kedua terjadi pada sudut belokan 60°, *water cut* 58% dan pada sudut belokan 90° *water cut* 58% dan 64%. Sedangkan pada sudut belokan 30° hanya berada pada garis pemisahan ideal kedua. Apabila titik data berada pada garis pemisahan pertama campuran *kerosene* dan air yang mengalir ke *run arm* sedangkan garis pemisahan kedua berarti air murni mengalir ke *run arm*. Hal ini disebabkan karena pengaruh sudut belokan yang semakin kecil sudut belokan maka gaya sentrifugal dari fase *kerosene* juga semakin besar sehingga fraksi *kerosene* menuju ke *side arm*.

Tabel 2. Nilai efisiensi pemisahan tertinggi pada sudut belokan *T-junction*

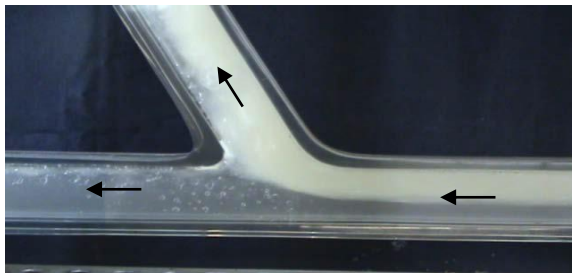
| Sudut <i>T-junction</i> | $\varepsilon_w = 58 \%$ | | | $\varepsilon_w = 64 \%$ | | | $\varepsilon_w = 71 \%$ | | |
|----------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| | F_m | x_1 | H (%) | F_m | x_1 | H (%) | F_m | x_1 | H (%) |
| 30° | 0,38 | 0,39 | 94 | 0,38 | 0,38 | 91 | 0,43 | 0,51 | 85 |
| 60° | 0,42 | 0,42 | 99 | 0,38 | 0,36 | 97 | 0,33 | 0,33 | 98 |
| 90° | 0,43 | 0,43 | 97 | 0,58 | 0,36 | 96 | 0,43 | 0,33 | 96 |



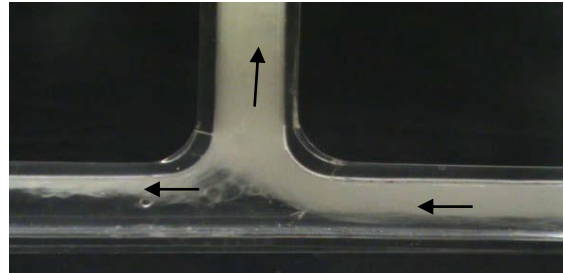
Gambar 2. T-Junction sudut 30°



Gambar 3. Sisi masuk inlet



Gambar 2. T-Junction sudut 60°



Gambar 2. T-Junction sudut 90°

Kesimpulan

Secara keseluruhan hasil pemisahan fase yang paling baik terjadi pada sudut belokan 60°, *water cut* 58%, $J_{mix} = 0,32$ m/s, dengan hambatan aliran *downstream* pada tekanan 550,7 Pa menghasilkan $F_k = 99\%$ dan $F_w = 3\%$ yang mengalir ke *side arm*, dan $F_k = 1\%$ dan $F_w = 97\%$ yang mengalir ke *run arm*. Dan efisiensi pemisahan fase yang terendah yaitu 85% terjadi pada sudut belokan 30°, *water cut* 71%, $J_{mix} = 0,36$ m/s, $F_m = 0,43$ dan $x_1 = 0,51$. Dan untuk sudut T-Junction 90° efisiensi tertinggi pada 97% pada *water cut* 58%. Semakin kecil nilai *water cut* semakin baik efisiensi pemisahan yang dicapai.

Sudut belokan pada *T-junction* mempengaruhi terjadinya perbedaan tekanan antara *inlet* dan *run arm* (ΔP_{1-2}) juga antara *inlet* dan *side arm* (ΔP_{1-3}) karena semakin kecil sudut belokan semakin besar gaya sentrifugal mengakibatkan *kerosene* mengalir ke *side arm* sehingga (ΔP_{1-2}) menjadi turun sedangkan (ΔP_{1-3}) menjadi naik. Pemisahan fase terjadi karena ada perbedaan tekanan antara *inlet*, *run arm* dan *side arm*.

Daftar Pustaka :

- Gunawan, 2009, *Studi Eksperimental Mengenai Perubahan Pola Aliran Terhadap Perubahan Tekanan Pada Aliran Kerosene-Air di T-Juntion*, Tesis S2 Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.
- Rodriguez, O.M.H. and Oliemans, R.V.A. 2005. *Experimental Study on Oil-Water Flow in Horizontal and Slightly Inclined Pipes*.

International Journal of Multiphase Flow. Vol-32. pp 323-343.

- Taqwali Berman Ega, 2009, *Studi Eksperimental Pengaruh variasi sudut T-Junction Terhadap Karakteristik Pemisahan Kerosenen-Air*, Tesis S2 Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.
- Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu, Guo Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2007. *Oil-water two-phase flow inside T-junction*. Journal of Hydrodynamic. Vol. 20(2), pp.147-153.
- Yang L, B.J Azzopardi, A. Belghasi, 2006. *Phase separation of liquid-liquid two-phase flow at a T-junction*. AIChE Journal. Vol. 52(1), pp. 141-149.
- Yang L, B.J Azzopardi, 2007. *Phase split of liquid-liquid two-phase flow at a horisontal T-junction*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 33(2),pp. 207-216

Percepatan Penerapan Teknologi Biogas Berbahan Kotoran Hewan Untuk Meningkatkan Pertumbuhan UMKM Di Kabupaten Pamekasan

Hozairi, Bakir, Buhari

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Islam Madura

Jl. PP. Miftahul Ulum Bettet, Pamekasan, Madura, 69351

Telp. (0324) 321783, Fax. (0324) 321783.

E-mail: dr.hozairi@gmail.com

Abstract

Biogas is a renewable energy source that can answer the need for energy as well as to provide for soil nutrient and is one solution to overcome the difficulties due to rising fuel prices, this technology can be applied mainly to the cattle ranchers. In order to meet domestic energy needs, a ground breaking effort that needs to be done is to implement the Rural Energy Bio program (BEP), which is an effort to fulfill the energy of self-reliance (self production) by the public, especially in rural areas. Farm businesses in Pamekasan sufficiently developed, but the utilization of livestock manure has not been optimal, but manure can be used as feedstock to produce renewable energy (renewable) in the form of biogas. Problems that occur in rural areas are not able to utilize the waste manure as an alternative energy producers and fuel wood, where their daily activities are very dependent on fuel and wood for cooking and lighting. It is quite an impact on the income of the villagers (farmers) itself. Acceleration method is carried out to the community: [1]. Manure waste utilization training to be a blessing; [2]. Training of manufacturing SMEs based on local potentials; [3]. Making biogas digester with permanent and semi permanent operation and maintenance training in selected areas. Contribution program and the application of science and technology accelerated the diffusion of energy in the hamlet Brekas Pamekasan is the availability of alternative energy for household needs, increasing community knowledge of the processing of cow manure into energy and fertilizer, the growth of new ventures in the region, improving the welfare of the community and able to maintain hygiene and environmental sustainability

Keywords: *biogas energy, animal waste, environment, SMEs*

1. PENDAHULUAN

Dua isu yang menjadi fokus perbincangan dunia adalah krisis energi dan pemanasan global. Krisis energi terjadi karena semakin menipisnya cadangan energi yang bersumber dari alam. Usaha untuk mengatasi krisis energi dan pemanasan global tersebut adalah penerapan dan pemanfaatan *renewable energy* atau energi yang dapat diperbarui dan dapat digunakan untuk menggantikan pemakaian bahan bakar minyak atau gas alam (*Sugi Rahayu, 2009*).

Pemanfaatan limbah peternakan (kotoran ternak) merupakan salah satu alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi naiknya harga pupuk dan kelangkaan bahan bakar minyak. Apalagi pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber bahan bakar dalam bentuk biogas. Teknologi dan produk tersebut merupakan hal baru bagi masyarakat petani dan peternak di Kabupaten Pamekasan. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber energi, tidak mengurangi jumlah pupuk organik yang bersumber dari kotoran ternak. Hal ini karena pada pembuatan biogas kotoran ternak yang sudah diproses dikembalikan ke kondisi semula yang diambil hanya gas metana (CH₄) yang digunakan sebagai bahan bakar. Kotoran ternak yang sudah diproses pada pembuatan biogas dipindahkan ke tempat lebih kering, dan bila sudah kering dapat disimpan dalam karung untuk digunakan sebagai pupuk.

Kabupaten Pamekasan memiliki potensi pertanian dan peternakan yang bagus, namun potensi tersebut belum dimanfaatkan sebagai sumber energi yang bisa digunakan untuk keperluan sehari-hari. Alasan utama masyarakat Pamekasan belum mampu mengelola potensi kotoran hewan tersebut adalah karena keterbatasannya pengetahuan dan keterampilan yang mereka miliki untuk mengolah limbah peternakan dan pertanian menjadi energi dan pupuk.

Terkait dengan hal tersebut, LP2M Universitas Islam Madura telah melakukan studi kelayakan dengan melibatkan para mahasiswa untuk melakukan survey terhadap 150 keluarga petani yang berada di dusun Brekas desa Kaduara, hasil dari survey tersebut setiap keluarga petani memiliki hewan ternak sapi ± sejumlah 4 ekor dengan rata-rata kotoran sapi ± 10 Kg/hari. Dengan diketahuinya rata-rata kotoran sapi disetiap keluarga maka jumlah energi yang dihasilkan bisa diketahui berapa jumlah keluarga yang dapat memanfaatkan biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi tersebut.

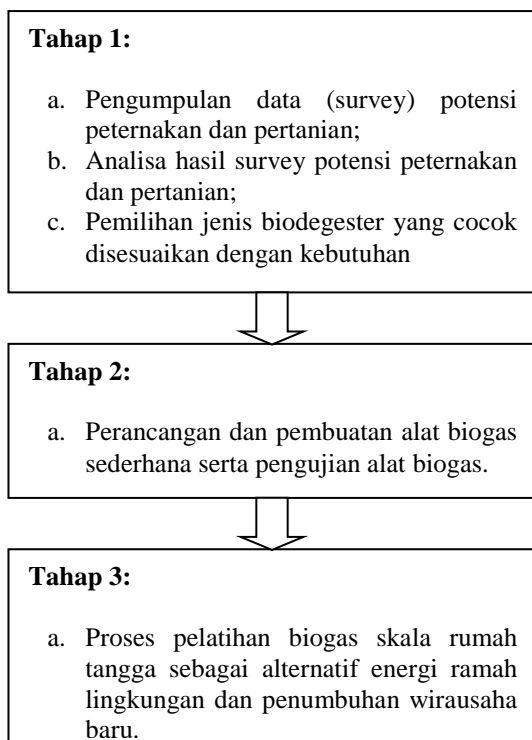
Ditinjau dari aspek sosial bahwa penerapan teknologi baru kepada masyarakat merupakan suatu tantangan tersendiri akibat rendahnya latar belakang pendidikan, pengetahuan dan wawasan yang mereka miliki. Begitu juga dengan penerapan teknologi biogas. Tidak pernah terbayangkan bahwa kotoran

sapi dapat menghasilkan energi. Selain itu juga perasaan jijik terhadap makanan yang dimasak menggunakan makanan yang dimasak menggunakan biogas. Untuk itu, program percepatan difusi dan penerapan iptek biogas ini segera dilakukan untuk melakukan konversi energi yang dihasilkan dari kotoran sapi menjadi biogas dan bagaimana mensosialisasikan produk biogas tersebut kepada masyarakat sehingga dapat dijadikan sebagai rintisan wirausaha baru.

Adapun tujuan dari program percepatan difusi dan penerapan iptek ini adalah untuk melakukan percepatan penerapan teknologi biogas berbahan kotoran hewan sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan UMKM di wilayah tersebut. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan beberapa syarat yang terkait dengan aspek teknis, infrastruktur, manajemen dan sumber daya manusia. Bila faktor tersebut dapat dipenuhi maka pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas sebagai penyediaan energi di desa Kaduara Barat, Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan dapat berjalan dengan optimal.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam program percepatan difusi dan penerapan iptek ini adalah penelitian *action reseach*, setiap kegiatan pelatihan, pendampingan dan perancangan alat perlu dilakukan analisa terhadap hasil capaian. Beberapa tahapan dan alur riset sebagai berikut:



Tahap 4:

- a. Analisa hasil, manfaat dan dampak program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang energi

Gambar 1. Tahapan program percepatan difusi dan penerapan iptek biogas

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini hasil dari beberapa tahapan program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang energi untuk mengolah kotoran sapi menjadi energi baru dan terbarukan (biogas):

a. Tahap 1

Hasil survey tentang potensi peternakan di Dusun Brekas, Desa Kaduara Barat, Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan, sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil survey

| NO | AKTIVITAS SURVEY | HASIL |
|----|--|-------------|
| 1 | Jumlah KK | 150 KK |
| 2 | Rata-rata jumlah anggota KK | 4 Orang |
| 3 | Rata-rata jumlah ternak (sapi) | 3 Ekor Sapi |
| 4 | Rata-rata jumlah kotoran (sapi)/hari | 17 Kg |
| 5 | Rata-rata masyarakat memasak menggunakan apa? | Kayu Bakar |
| 6 | Rata-rata bangunan rumah masyarakat | Bangunan |
| 7 | Rata-rata kondisi ekonomi masyarakat | Miskin |
| 8 | Rata-rata ketertarikan masyarakat menggunakan biogas sebagai energi alternatif | Tertarik |

Berdasarkan data hasil survey dan kondisi geografis Dusun Brekas, Desa Kaduara Barat, Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan, peneliti mengambil kesimpulan bahwa penerapan teknologi biogas berbahan kotoran hewan sangat dibutuhkan masyarakat di wilayah tersebut, namun perlu

dilakukan pemilihan jenis biodigester untuk disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan pembiayaan/finansial masyarakat. Dari segi konstruksi, biodigester dibedakan menjadi (Ana Nurhasanah, 2009):

- *Fixed dome* – Biodigester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor (biodigester). Karena itu, dalam konstruksi ini gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor.
- *Floating dome* – Pada tipe ini terdapat bagian pada konstruksi reaktor yang bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian reaktor ini juga menjadi tanda telah dimulainya produksi gas dalam reaktor biogas. Pada reaktor jenis ini, pengumpul gas berada dalam satu kesatuan dengan reaktor tersebut

Dari segi aliran bahan baku reaktor biogas, biodigester dibedakan menjadi:

- *Bak (batch)* – Pada tipe ini, bahan baku reaktor ditempatkan di dalam wadah (ruang tertentu) dari awal hingga selesainya proses digesti. Umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik.
- *Mengalir (continuous)* – Untuk tipe ini, aliran bahan baku masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu. Lama bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolik (hydraulic retention time/HRT).

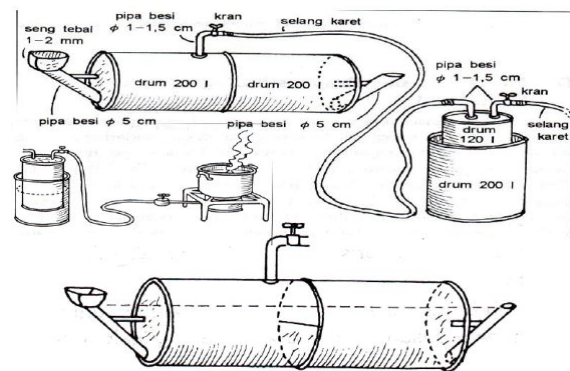
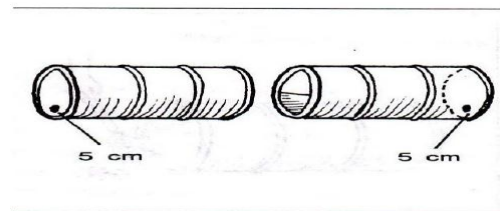
Sementara dari segi tata letak penempatan biodigester, dibedakan menjadi:

- Seluruh biodigester di permukaan tanah. Biasanya berasal dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga tidak mencukupi untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi dari biogas yang dihasilkan.
- Sebagian tangki biodigester di bawah permukaan tanah. Biasanya biodigester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumuran dan ditutup dari plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan isian, sehingga menghambat proses produksi.
- Seluruh tangki biodigester di bawah permukaan tanah. Model ini merupakan

model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi biodigester ditanam di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen, yang membuat suhu biodigester stabil dan mendukung perkembangan bakteri methanogen.

b. Tahap 2

Urutan perancangan fasilitas biodigester dimulai dengan perhitungan volume biodigester, penentuan model biodigester, perancangan tangki penyimpanan dan diakhiri dengan penentuan lokasi.



Gambar 1. Model desain biogas skala rumah tangga



Gambar 2. Hasil perancangan dan uji coba biogas

Proses perhitungan volume biodigester untuk wilayah dusun brekas, yaitu:

- Penentuan jumlah kotoran sapi
Jumlah kotoran sapi = $n \times 28$ kg/hari
 $= 3 \times 28$ kg/hari = 84 kg/hari

Ket: n adalah jumlah rata-rata sapi disetiap keluarga di dusun brekas.

- Penentuan berat kering kotoran sapi
Bahan Kering = $0.2 \times$ Jumlah kotoran sapi
 $= 0.2 \times 84$ kg/hari
 $= 16,8$ kg/hari

Ket: komposisi kandungan kotoran sapi 80% cair, 20% padat

- Perbandingan komposisi bahan kering dengan air (1:4)
Air yang ditambahkan = $4 \times$ bahan kering
 $= 4 \times 11,2$ kg/hari
 $= 67,2$ kg/hari

Perhitungan di atas menunjukkan massa total larutan kotoran padat (mt)

- Volume larutan kotoran yang dihasilkan
 $V_f = m_t / \rho_m$
 $= 67,2 / 1000$
 $= 0,0672$

dengan ρ_t = massa jenis air (1000 kg/m^3)

- Penentuan volume biodegister
 $V_d = V_f \cdot t_r$
 $= 0,0672 \times 30$ hari
 $= 2 \text{ m}^3$

dengan t_r = waktu penyimpanan (30 hari)

Setelah volume biodegister diketahui maka selanjutnya adalah menentukan model digester yang didasari beberapa pertimbangan, yaitu: jenis tanah yang akan dipakai, kebutuhan, dan biaya. Selanjutnya Untuk membuat reaktor biogas skala rumah tangga seperti gambar diatas diperlukan beberapa hal sebagai berikut:

- Drum kapasitas 200 liter 3 buah
- Drum kapasitas 120 liter 1 buah
- Kran gas 2 buah & Selang kecil ± 15 meter

- Pipa corong kecil 2 buah & Besi plat 1 batang
- Pipa besi 2 inci 1 batang & kompor biogas

c. Tahap 3

Sasaran program ini adalah kelompok masyarakat di dusun Brekas, pelatihan dibagi dalam 2 kelompok sasaran yaitu:

- Kelompok pria diberikan materi tentang teknis pengoperasian alat biogas dan perawatannya, serta pelatihan pengolahan limbah menjadi pupuk organik yang bisa dijadikan unit usaha baru bagi mereka.
- Kelompok wanita diberikan materi tentang bagaimana memulai usaha baru mandiri yang bisa meningkatkan kesejahteraan keluarganya, serta manajemen pengolahan dan pemasaran terhadap produknya.

Metode kegiatan dilakukan dengan model:

- Ceramah, yaitu dengan menyampaikan informasi dan memberi pengarahan tentang manfaat biogas serta potensi pengembangan biogas secara ekonomis.
- Demonstrasi, yaitu menunjukkan cara pembuatan biogas skala rumah tangga sebagai energi alternatif ramah lingkungan.
- Praktikum, yaitu melakukan praktek tentang produksi, pengolahan, perawatan biogas yang sudah ada.

d. Tahap 4

Setelah proses pendidikan dan pelatihan dilakukan oleh tim difusi dan penerapan iptek, dilakukanlah beberapa analisa terhadap pelaksanaan tersebut, diantaranya:

Tabel 2. Analisa efektifitas program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang energi di dusun Brekas, desa Kaduara Barat

| No | Capaian Dari Aspek Tujuan | Nilai Rata 2 |
|----|--|--------------|
| 1 | Terjadi kemitraan antara PT, DUDI, Pemerintah | 4 |
| 2 | Hasil litbang mampu menyelesaikan permasalahan masyarakat | 3 |
| 3 | Hasil Litbang dimanfaatkan dalam aktivitas ekonomi daerah dalam rangka peningkatan produk unggulan dan daya saing. | 3 |

| | | |
|---|--|---|
| 4 | Meningkatnya akselerasi penyerapan inovasi dan hasil riset ke dalam industri /dunia usaha, masyarakat maupun pemerintah. | 3 |
| 5 | Meningkatnya komersialisasi produk inovatif ke dalam industri / dunia usaha, masyarakat. | 3 |
| 6 | Terciptanya sinergi dan kemitraan kelembagaan iptek di pusat dan daerah. | 4 |
| 7 | Meningkatnya produktivitas, nilai tambah, kualitas maupun daya saing produk berbasis iptek. | 2 |

Keterangan: 4= sangat baik, 3 = baik, 2 = cukup, 1 = kurang

Tabel 2. Di dapatkan dari 25 angket yang disebarakan pada peserta program pelatihan, tabel diatas diambil dari nilai rata-rata 7 pertanyaan yang telah dibuat dan di isi oleh setiap peserta. Hasil dari rata-rata diatas capaian program percepatan difusi dan penerapan iptek berdasarkan tujuan didapatkan kriteria **BAIK** artinya tujuan program ini sangat-sangat disambut dengan baik dan dimengerti.

Tabel 3. Analisa substansi pelaksanaan program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang biogas.

| No | Capaian Dari Aspek Substansi | Nilai Rata2 |
|----|--|-------------|
| 1 | Mekanisme dan metoda pelaksanaan difusi; | 3 |
| 2 | Pemanfaatan dan difusi iptek inovatif hasil litbangrap atau masyarakat; | 3 |
| 3 | Penggunaan iptek yang secara mudah dapat dikuasai dan dikembangkan oleh mitra pengguna | 4 |
| 4 | Pendayagunaan SDM dan pemanfaatan bahan baku lokal untuk aktivitas usaha | 3 |
| 5 | Pembelajaran untuk mendorong terbentuknya budaya iptek | 2 |

Keterangan: 4= sangat baik, 3 = baik, 2 = cukup, 1 = kurang

Tabel 3. Diatas di dapatkan dari 30 angket yang disebarakan pada peserta sosialisasi program percepatan difusi dan penerapan iptek bagi beberapa dosen Universitas Islam Madura, tabel diatas diambil dari nilai rata-rata 5 pertanyaan yang telah dibuat. Hasil dari rata-rata capaian berdasarkan substansi program percepatan difusi dan penerapan iptek didapatkan kriteria **BAIK** artinya secara substansi pelaksanaan program difusi dan penerapan iptek di universitas islam Madura sangat efektif dan efisien.

Tabel 4. Analisa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan industri kecil di wilayah tersebut.

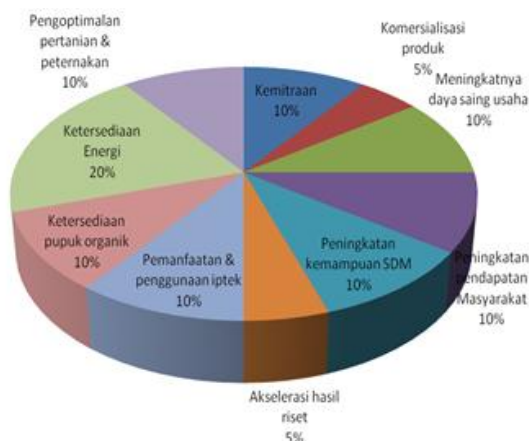
| No | Capaian Dari Aspek Usaha | Nilai Rata2 |
|----|---|-------------|
| 1 | Produk yang didifusikan sesuai kebutuhan pasar | 4 |
| 2 | Hasil analisis sosial, ekonomi, rencana bisnis sangat positif; | 3 |
| 3 | Peningkatan pendapatan masyarakat | 3 |
| 4 | Peningkatan pendapatan asli daerah | 2 |
| 5 | Peningkatan kualitas, kemampuan manajemen | 3 |
| 6 | Komitmen dan perhatian pemerintah (dukungan kebijakan, infrastruktur, keuangan, pelatihan, dll) | 4 |

Keterangan: 4= sangat baik, 3 = baik, 2 = cukup, 1 = kurang

Tabel 4. diatas di dapatkan dari 25 angket yang disebarakan pada peserta program percepatan difusi dan penerapan iptek, tabel diatas diambil dari nilai rata-rata 6 pertanyaan yang telah dibuat. Hasil dari rata-rata capaian berdasarkan pengembangan unit usaha masyarakat, program percepatan difusi dan penerapan iptek didapatkan kriteria **BAIK** artinya program ini mampu mendorong terjadinya pertumbuhan industri di wilayah tersebut karena ketersediaan energi untuk kebutuhan rumah tangga

sudah tercukupi, sehingga untuk sementara program ini dianggap berhasil.

Berdasarkan analisa tabel diatas, ada 10 aspek kriteria yang perlu diuji untuk mengetahui apakah program percepatan penerapan biogas berbahan kotoran ternak yang telah dilaksanakan mampu memberikan efek terhadap pertumbuhan usaha kecil dan menengah di wilayah tersebut. Berdasarkan pengujian 10 kriteria terhadap pengaruh program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang energi baru dan terbarukan berbahan kotoran hewan, didapatkan persentase hasil, manfaat dan dampak seperti grafik 1 dibawah ini: 10% (kemitraan); 5% (komersialisasi produk biogas), 10% (meningkatnya daya saing usaha), 10% (meningkatnya pendapatan masyarakat pengguna biogas), 10% (peningkatan kemampuan SDM), 5% (akselerasi hasil riset), 10% (ketersediaan pupuk), 20% (ketersediaan energi), 10% (pemanfaatan iptek), 10% (pengoptimalan produk pertanian & peternakan).



Grafik 1. Persentase hasil, manfaat & dampak program percepatan difusi dan penerapan iptek biogas.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa program percepatan difusi dan penerapan iptek bidang energi khususnya pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Untuk wilayah dusun Brekas di Kabupate Pamekasan model digester yang paling cocok adalah model sederhana yaitu menggunakan tangki bekas dengan kapasitas 4 m³ untuk kalangan rumah tangga saja.
- Ditinjau dari aspek capaian berdasarkan tujuan, substansi dan usaha program

percepatan difusi dan penerapan iptek ini dipandang sangat efektif untuk membangun kemandirian masyarakat yang berbasis potensi lokal.

- Ditinjau dari aspek hasil, manfaat dan dampak yang dihasilkan dari program ini sangat banyak yaitu: tersedianya energi alternatif untuk kebutuhan rumah tangga, meningkatnya pengetahuan masyarakat bidang pengolahan kotoran sapi menjadi energi dan pupuk, tumbuhnya usaha-usaha baru di wilayah tersebut, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Daftar Pustaka

- Ana Nurhasanah, T. W. (2009). Perkembangan Digester Biogas di Indonesia. *Pertanian* , 1-7.
- Biru. (2010). *Model Instalasi Biogas Indonesia*. Jakarta: BIRU.
- Mamat Ruhimat, D. S. (2009). Sosialisasi dan Pelatihan Pemanfaatan Biogas Skala Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Di Kampung Prabon Desa Warnasari Kecamatan Pengalengan Kabupaten Bandung. *Seminar Pengabdian Masyarakat* (hal. 1-8). Jakarta: Survey Pemetaan dan Informasi Geografis FPIPS UPI.
- Putro, S. (2007). Penerapan Instalasi Sederhana Pengolahan Kotoran Sapi Menjadi Energi Biogas Di Desa Sugihan Kecamatan Bendosari Kabupaten Sukoharjo. *Warta* , 178-188.
- Sugi Rahayu, D. P. (2009). Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya. *Inotek* , 150-160.
- Sulaeman, D. (2008). *Sepuluh Faktor Pemanfaatan Biogas Kotoran Ternak*. Jakarta: Anonyms.
- Teguh Wikan Widodo, A. A. (2006). Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak. *Jurnal Enjnering Pertanian* , 41-51

The Effect of Harvesting Period and Volume of *Tetraselmis Chuii* to Absorb CO₂ in Bubble Photobioreactor

Aprilla Ayu Ramasari, Elida Purba

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung 35145
aprilla.ayu10@gmail.com

Abstract

This paper explains about the effect of harvesting period and volume of Tetraselmis chuii in absorbing CO₂. The purpose is to determine the most suitable volume and harvesting period in order to decrease the concentration of CO₂ out put. Tetraselmis chuii was cultured for 5 days, then on the sixth day the cultured was harvesting as much as 1/5th of the cultured volume, and then replaced with the fresh feed as much as 1/5th of the volume too daily. Cultured is exposed to fixed CO₂-air mixture with concentration 5%. The experiment was repeated for different harvesting volume of 1/4th and 1/3rd, and then with different harvesting period of 2 days. The concentration of CO₂ out put was measured daily. The result show that the most suitable harvesting volume and period are 1/5th and 1 day, respectively, the maximum CO₂ absorption is 32,78%.

Keywords : *Tetraselmis chuii, volume and period, CO₂*

PENDAHULUAN

Konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat setiap tahunnya, oleh karena itu perlu dilakukan beberapa metode untuk dapat mengurangi konsentrasi CO₂ yang di buang ke atmosfer. Berdasarkan data *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) pada saat mulai terjadi revolusi industri konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah 282,32 ppm, tahun 2009 konsentrasinya 387,35 ppm, tahun 2010 konsentrasinya 388,38 ppm dan pada Juni 2011 konsentrasi CO₂ mencapai 450 ppm.

Karena kemampuannya berfotosintesis, penggunaan *Tetraselmis chuii* dalam mengurangi gas CO₂ dapat menjadi penyelesaian yang baik. Penggunaan mikroalga untuk mengurangi CO₂ memiliki beberapa keuntungan. Pertama, mikroalga mempunyai laju pertumbuhan yang cepat dan kemampuan memfiksasi CO₂ lebih baik dibandingkan tanaman lain seperti tanaman pertanian (Christi, 2007). Kedua, mikroalga dapat memanfaatkan CO₂ sekaligus menyerap cahaya matahari 10-50 kali lebih besar daripada tumbuhan tingkat tinggi (Li Y., dkk., 2008). Ketiga, mikroalga dapat menghasilkan produk-produk yang bermanfaat seperti biodiesel, bioetanol, bahan kimia bagi industri kosmetik, makanan dan farmasi (Christi, 2007). Keempat, pengembangan-biakan mikroalga dapat dilakukan dalam area yang tidak terlalu luas.

Tetraselmis chuii termasuk golongan alga hijau (*Chlorofyceae*), mempunyai sifat selalu bergerak, berbentuk oval elips, mempunyai empat buah flagella pada ujung depannya yang berukuran 0,75-

1,2 kali panjang badan dan berukuran 10x6x5 µm (Butcher, R. W., 1959).

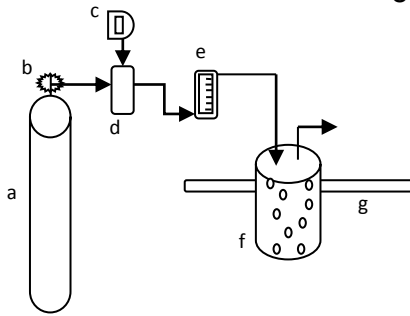
Teknologi pembudidayaan alga berupa fotobioreaktor dengan sistem *batch* yang digunakan selama ini menghasilkan konsentrasi CO₂ *output* yang tidak kontinu. Restiada, dkk (2008) melakukan penelitian dengan mikroalga jenis ini untuk menentukan waktu pemanenan yang optimal. Hasilnya pada hari ke enam perkembangannya meningkat menjadi 10.4 juta sel/mL dan pada hari ke tujuh menurun menjadi 10 juta sel/mL dimana peningkatan jumlah sel mikroalga menyebabkan penyerapan CO₂ semakin meningkat.

Oleh karena itu dilakukan penggantian *Tetraselmis Chuii* setelah sel yang dihasilkan konstan, sehingga CO₂ *output* lebih kontinu dengan volume dan periode pemanenan tertentu. Selain itu, publikasi penelitian tentang pemanfaatan *Tetraselmis chuii* dalam penyerapan CO₂ masih terbatas sehingga publikasi hasil penelitian ini sangat diperlukan.

METODA PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini: *Tetraselmis chuii*, air laut terozonisasi, pupuk conwy, gas CO₂, udara, Ca(OH)₂ 1M, larutan *buffer* pH 4 dan 7, aquades. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini: fotobioreaktor (diameter 10 cm dan tinggi 23,5 cm), *air pump*, regulator CO₂, *flowmeter* gas, lampu *fluorescent* 20 Watt, pH meter, timbangan digital, luxmeter, dan tabung pencampur. Skema peralatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan : (a) Tabung gas CO₂ (b) Regulator CO₂ (c) Air pump (d) Tabung pencampur gas (e) Flow meter gas (f) Fotobioreaktor (g) Lampu TL

Gambar 1. Skema Rangkaian Alat Penelitian

Prosedur

Fotobioreaktor diisi 1 liter kultur biakan yang berisi *Tetraselmis chuii* dan air laut. Perbandingan air laut dan *Tetraselmis chuii* sebesar 4 : 1 dan nutrisi sebanyak 1 ml. Pengkulturan *Tetraselmis chuii* dilakukan selama enam hari dengan intensitas cahaya 6000 lux dan mengalirkan CO₂ dengan konsentrasi 5% volume secara kontinu. Selama enam hari ini tidak dilakukan pemanenan.

Setelah enam hari, dilakukan pemanenan mikroalga sebanyak 1/5 bagian dari 1 liter volume kultur dan periode panen setiap satu hari. Perlakuan yang sama dilakukan untuk variasi volume panen 1/4 dan 1/3 bagian dari volume kultur dan periode panen satu dan dua hari. Setiap pemanenan mikroalga dilakukan penambahan bibit baru sebanyak volume pemanenan.

Analisis konsentrasi CO₂

Analisis konsentrasi CO₂ dilakukan setiap hari dengan cara penggelembungan gas CO₂ keluaran fotobioreaktor ke dalam larutan Ca(OH)₂ 1 M. Setelah 20 menit, dilakukan pengukuran pH. Konsentrasi CO₂ terukur dapat di ketahui dengan menggunakan kurva standar hubungan antara %CO₂ terhadap pH-nya yang telah dibuat sebelumnya. Besarnya penyerapan CO₂ dapat diketahui dengan cara sebagai berikut:

$$\% \text{ CO}_2 \text{ terserap} = \% \text{ CO}_2 \text{ awal} - \% \text{ CO}_2 \text{ terukur}$$

$$\% \text{ penyerapan CO}_2 = \frac{\% \text{ CO}_2 \text{ terserap}}{\% \text{ CO}_2 \text{ awal}} \times 100 \%$$

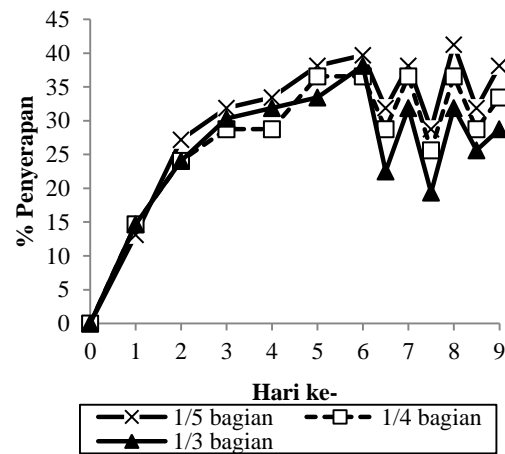
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Volume Pemanenan

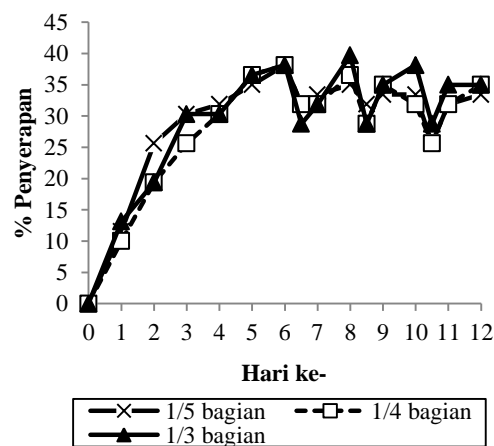
Hasil penelitian menggunakan mikroalga *Tetraselmis chuii* dengan variasi volume panen sebanyak 1/5, 1/4, dan 1/3 bagian dari volume kultur serta periode panen mikroalga setiap satu hari dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengkulturan *Tetraselmis chuii* pada 6 hari pertama (waktu *batch*), persentase penyerapan CO₂ terus meningkat. Setelah hari ke-6, pada saat dilakukan panen pertama kali penyerapan CO₂ mengalami penurunan untuk setiap variasi volume panen. Hal

ini disebabkan pada saat dilakukan pemanenan dan penambahan bibit baru kepadatan sel berkurang sehingga penyerapan CO₂ ikut berkurang.

Pada periode panen setiap satu hari, persentase penyerapan CO₂ rata-rata dengan pemanenan dan penambahan bibit baru sebanyak 1/3 bagian dari volume kultur sebesar 27,708%. Pada volume panen 1/4 bagian, CO₂ dapat diserap oleh mikroalga sampai 29,922%. Penyerapan paling tinggi terjadi pada pemanenan 1/5 bagian dari volume kultur, dimana alga *Tetraselmis chuii* dapat mereduksi CO₂ hingga 32,786%. Data di atas membuktikan bahwa semakin kecil volume panen mikroalga maka semakin besar penyerapan CO₂. Hal ini disebabkan karena semakin sedikit volume panen alga *Tetraselmis chuii*, maka alga tersebut tidak mengalami pengurangan kepadatan sel yang cukup signifikan, sehingga penyerapan CO₂ akan terus kontinu.



Gambar 2. Perbandingan penyerapan CO₂ pada waktu penggantian setiap satu hari dengan volume penggantian 1/5, 1/4, dan 1/3 bagian dari volume kultur



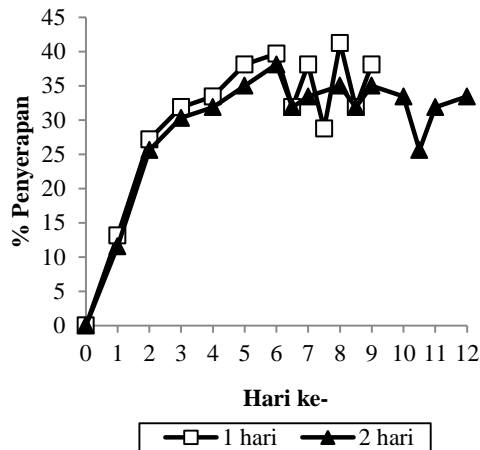
Gambar 3. Perbandingan penyerapan CO₂ pada waktu penggantian setiap dua hari dengan volume penggantian 1/5, 1/4, dan 1/3 bagian dari volume kultur

Hal yang berbeda terjadi pada Gambar 3 yaitu pada penyerapan CO₂ dengan volume panen *Tetraselmis chuii* sebesar 1/5, 1/4, dan 1/3 bagian

dari volume kultur dengan periode panen setiap dua hari. Untuk pemanenan sebanyak 1/3 bagian dari volume kultur, persentase penyerapan CO₂ rata-rata mencapai 31,250 %, untuk pemanenan 1/4 bagian, penyerapan CO₂ sebesar 29,896 %, dan untuk 1/5 bagian, *Tetraselmis chuii* mampu menyerap CO₂ hingga 30,833 %. Persentase penyerapan tertinggi dengan melakukan pemanenan mikroalga sebanyak 1/3 bagian dari volume kultur dengan waktu panen setiap dua hari.

Pengaruh Periode Pemanenan

Periode panen adalah variabel yang juga divariasikan pada penelitian ini, dimana periode panen setiap satu dan dua hari dilakukan setelah mencapai 6 hari pertama (waktu *batch*). Berikut ini grafik penyerapan CO₂ menggunakan *Tetraselmis chuii* dengan konsentrasi CO₂ 5 % volume dan intensitas cahaya 6000 lux dengan volume panen *Tetraselmis chuii* sebesar 1/5 bagian dari volume kultur dan periode panen setiap satu dan dua hari dalam *bubble* fotobioreaktor *semibatch*.

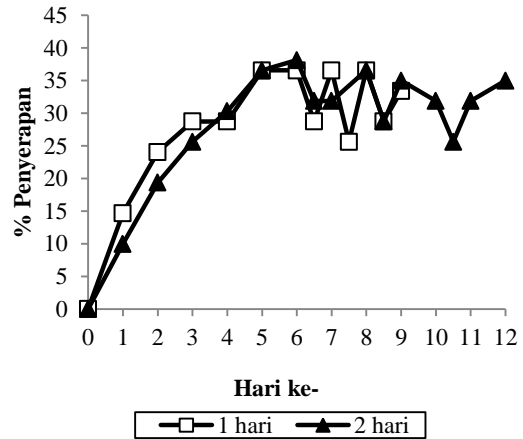


Gambar 4. Penyerapan CO₂ dengan volume penggantian 1/5 bagian dari volume kultur dan periode penggantian setiap 1 hari dan 2 hari

Hasilnya menunjukkan bahwa pemanenan 1/5 bagian dari volume kultur setiap satu hari lebih tinggi dalam menyerap CO₂ dibandingkan setiap dua hari. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 4, dimana perbandingan antara periode panen satu hari mempunyai persentase penyerapan CO₂ rata-rata sebesar 30,833%, sedangkan dengan periode panen dua hari persentase penyerapan CO₂ lebih tinggi sampai 32,786 %.

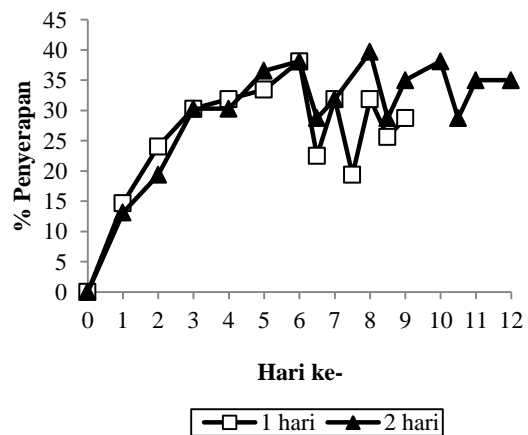
Pada periode panen setiap satu hari, *Tetraselmis chuii* mengalami fluktuasi dalam menyerap CO₂. Hal yang sama terjadi pada periode panen dua hari, *Tetraselmis chuii* mengalami fluktuasi dalam menyerap CO₂. Saat kultur alga diganti setiap dua hari dengan volume penggantian 1/5 bagian dari volume kultur, penyerapan CO₂ cenderung mengalami penurunan. Keadaan ini disebabkan kepadatan sel *Tetraselmis chuii* yang berkurang setelah dilakukan penggantian *Tetraselmis chuii* sehingga penyerapan CO₂ ikut menurun.

Pada Gambar 5 terlihat kecenderungan yang sama pada volume panen 1/4 bagian dari volume kultur dengan periode panen setiap satu dan dua hari, yaitu penyerapan CO₂ dari hari pertama hingga hari ke-6 meningkat. Pada saat dilakukan pemanenan pertama kali penyerapan CO₂ mengalami penurunan. Hal ini berlaku untuk setiap periode panen yang dilakukan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Penyerapan CO₂ dengan volume penggantian 1/4 bagian dari volume kultur dan periode penggantian setiap 1 hari dan 2 hari

Keadaan ini disebabkan pada saat dilakukan pemanenan dengan bibit baru kepadatan sel berkurang sehingga penyerapan CO₂ ikut berkurang. Untuk volume panen 1/4 bagian, hasil yang diperoleh setelah pemanenan setiap satu hari dan dua hari tidak memiliki perbedaan yang jauh. Rata-rata penyerapan yang diperoleh pada volume panen ini adalah 29,92% (satu hari pemanenan) dan 29,89% (dua hari pemanenan).



Gambar 6. Penyerapan CO₂ dengan volume penggantian 1/3 bagian dari volume kultur dan periode penggantian setiap 1 hari dan 2 hari

Pada Gambar 6 penyerapan CO₂ pada periode panen setiap dua hari lebih tinggi dibandingkan dengan penyerapan CO₂ dengan periode panen setiap satu hari. Hal ini karena kepadatan sel setelah dua hari lebih besar dibandingkan dengan kepadatan setelah pemanenan satu hari. Volume panen

mikroalga *Tetraselmis chuii* dengan periode panen dua hari merupakan waktu panen yang sesuai dalam penyerapan CO₂ dibandingkan dengan pemanenan setiap satu hari dengan rata-rata penyerapan masing-masing 31,25 dan 27,708 %.

Tabel A.8. Data persentase penyerapan CO₂ rata-rata *Tetraselmis chuii*

| No | Volume panen (L) | Periode panen (hari) | % Penyerapan CO ₂ rata-rata |
|----|------------------|----------------------|--|
| 1 | 1/5 | 1 | 32,79 % |
| 2 | | 2 | 30,30 % |
| 3 | 1/4 | 1 | 29,92 % |
| 4 | | 2 | 29,90 % |
| 5 | 1/3 | 1 | 27,71 % |
| 6 | | 2 | 31,25 % |

Dari data yang diperoleh, volume dan periode pemanenan berpengaruh terhadap penyerapan CO₂. Penyerapan CO₂ terbaik yang diperoleh pada intensitas cahaya 6000 lux dan konsentrasi CO₂ input 5% yakni dengan volume panen mikroalga *Tetraselmis chuii* sebanyak 1/5 bagian dan periode panen setiap satu hari. Hasil ini didukung dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Agustina (2010) dengan variasi intensitas cahaya dan periode panen menggunakan mikroalga yang sama. Hasilnya adalah pemanenan setiap satu hari menghasilkan rata-rata penyerapan CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemanenan setiap dua hari, % CO₂ rata-rata tertinggi yaitu 0.39307 % dengan volume panen 1/2 bagian dari volume kultur. Sedangkan hasil penelitian Supriyadi (2010) menggunakan *Nannochloropsis oculata* pada intensitas cahaya 6000lux, penyerapan rata-rata mencapai 21,99% (satu hari pemanenan) dan 22,72% (dua hari pemanenan). Perbedaan ini dikarenakan jenis mikroalga dan intensitas cahaya yang digunakan berbeda.

Purba (2011) telah mempublikasikan tentang profil volume dan periode pemanenan mikroalga dalam penyerapan gas CO₂ menggunakan *Tetraselmis chuii* dan *Nannochloropsis oculata* yang menunjukkan CO₂ out put yang lebih kontinu.

Hasil ini juga didukung dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Chiu, S., dkk (2008) yang memvariasikan periode penggantian mikroalga. Pada waktu penggantian setiap satu hari sekali, penyerapan CO₂ lebih tinggi dan efisien dalam menghasilkan biomassa yang lebih besar yaitu $0,497 \pm 0,032 \text{ gL}^{-1}\text{d}^{-1}$ (berat kering) dibandingkan dengan penggantian setiap tiga hari sekali $0,296 \pm 0,009 \text{ gL}^{-1}\text{d}^{-1}$ (berat kering).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada periode penggantian setiap satu hari, volume penggantian berpengaruh terhadap penyerapan CO₂, semakin kecil volume penggantian maka penyerapan CO₂ semakin tinggi. Namun pada periode penggantian setiap dua hari tidak terlihat kecenderungan yang sama, persentase penyerapan CO₂ rata-rata dengan penggantian mikroalga 1/5, 1/4, dan 1/3 bagian dari volume kultur berturut-turut adalah 30,833%; 29,896%; dan 31,250%.
2. Waktu penggantian setiap satu hari dengan volume penggantian 1/5 bagian dari volume kultur menghasilkan persentase penyerapan CO₂ tertinggi sebesar 32,786 %.
3. Persentase penyerapan CO₂ rata-rata terendah sebesar 27,71 % diperoleh pada periode penggantian satu hari dengan volume penggantian sebanyak 1/3 bagian dari volume kultur.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D., 2010, "Pengaruh intensitas Cahaya dan Periode Penggantian Mikroalga Terhadap Penyerapan Gas CO₂ Menggunakan Tetraselmis chuii dalam Bubble Fotobioreaktor", Laporan Penelitian, Bandar Lampung, Universitas Lampung.
- Butcher, R. W., 1959, *An Introductory Account Of The Smaller Algae Of British Coastal Waters. Part I. Introduction And Chlorophyceae*, Fish. Invest., Lond. Ser. IV, 1-74.
- Chiu, S., dkk., 2009, *Lipid Accumulation and CO₂ Utilization of Nannochloropsis oculata in Response to CO₂ Aeration*, Bioresource Technology, 100: 833-838.
- Christi, Y., 2007, *Biodiesel from Microalgae*, Biotechnology Advances, 25, 294-306.
- Li Y. Horsman M., dkk., 2008, *Biofuels from Microalgae*, Biotech Prog (in press) ASAP Article, DOI 10.1021/bp070371kS8756-7938(07)00371-2.
- Purba, Elida, 2011, "Perbandingan Profil Volume dan Periode Penggantian Mikroalga dalam Penyerapan Gas CO₂ dalam Udara menggunakan Tetraselmis chuii dan Nannochloropsis Oculata", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi IV Buku I hal 441-420, Unila, Bandar Lampung. Restiadi, I Nyoman, Muhdiat, Arif, G.A, 2008, *Penyediaan Bibit Plankton Nannochloropsis oculata Untuk skala Massal*. Bul. Tek. Lit. Akuakultur. 7(1).31-35.
- Supriyadi, Didik dan Purba, Elida, 2011, "Pengaruh intensitas Cahaya dan Periode Penggantian Mikroalga Terhadap Penyerapan Gas CO₂ Menggunakan Nannochloropsis Oculata dalam Bubble Fotobioreaktor", Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi III Buku III hal 139-145, Unila, Bandar Lampung.

Synthesis Bioplastic from *Gracilaria coronopifolia* Seaweed as Edible Film

Asih Isnaini^[1], Meylina^[2], Yuli Darni^[3]

Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lampung University
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Telp. (0721) 701609
e-mail : meylina1@gmail.com

Abstract

Edible Film is defined as coat resident above or within food component. To the effect from research it which is syntheses bioplastic from Gracilaria coronopifolia seaweed as edible film, to find the mechanical character and water resistance of edible film and determines its optimum condition. In this studi does research about makings bioplastic mixed, Gelatine, Chitosan and then gliserol an sorbitolas plasticizer and ratio massa variation among pati and gelatine which is 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 and 90/10 % (m / m). This result as edible film in shaped ply, with the best result is pointed out on seaweed formulation gelatine 70/30 gr / gr, gliserol's concentration 4%, with the result is Tensile Strength 30.625 Mpa and Modulus Young 110.54 Mpa. For research about made bioplastic from mix gel, kitosan and sorbitol as plasticizer with mass rasio varition between gel and kitosan which are 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 and 90/10 % (gr / gr) and Sorbitol's concentration variation as plasticizer which is 20, 25, 30 and 35 %. The result are edible film in piece of plastic, with the best in formulation gel and kitosan 80/20(gr / gr), sorbitol's concentration 35% , with 30.625 MPa attractive strong result and Young's modulus 169.014 Mpa

Keyword: Edible Film, Gelatine, Glycerin, kitosan, seaweed, sorbitol

Pendahuluan

Pola kehidupan manusia sekarang ini hampir tidak terpisahkan dari keberadaan bahan-bahan pengemas. peningkatan laju konsumsi dan teknologi pangan meningkatkan pula laju pembuangan kemasan bekas bahan pangan di lingkungan hidup manusia. sehingga mulai didapatilah masalah-masalah yang berasal dari sampah kemasan bahan pangan, apalagi kemasan dengan bahan yang sukar didegradasi secara alami seperti gelas, plastik, dan kaleng. hal tersebut memunculkan dorongan untuk mengkaji dan mencari solusi-solusi permasalahan ini, diantaranya adalah penelitian mengenai bahan kemasan yang bersifat ramah lingkungan tetapi juga mempunyai keunggulan khas jika diterapkan sebagai kemasan pada bahan pangan. (nugrogalih,2009). *Edible film* adalah salah satu jenis kemasan yang ramah lingkungan bahkan bisa langsung ikut dikonsumsi bersama pangan yang dikemasnya karena terbuat dari bagian bahan pangan alami tertentu. menurut parris et al. (1995), *edible film* berperan sebagai lapisan yang dapat didegradasi oleh bakteri dan terbuat dari sumber daya yang dapat diperbaharui. selain itu *edible film* memberikan perlindungan yang unik dengan mengurangi transmisi uap air, mempertahankan aroma dari bahan pangan yang dikemas, sifat *edible* tersebut merupakan karakteristik yang tidak didapatkan pada kemasan konvensional.

Edible Film sebagai bagian dari bahan pangan harus mempunyai komposisi yang dapat mendukung dan dapat diterapkan pada produk pangan yang diinginkan. sifat fungsional,

organoleptik, nutritional dan mekanik dari *edible film* dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan-bahan kimia tertentu, misalnya antioksidan, antimikroba, asam organik, nutrisi tambahan, flavor, pewarna dan lain-lain. Penelitian ini akan mencari kondisi optimum formulasi *edible film* yang menggunakan bahan baku ekonomis dengan sifat mekanik yang memenuhi standar.

Metode Penelitian

Alat Dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : rumput laut *gracilaria coronopifolia*, gelatin, kitosan, gliserol, sorbitol, aquades. peralatan utama yang digunakan dalam penelitian antara lain gelas ukur (500 ml, 200 ml, 100 ml, 50 ml dan 10 ml), *water batch*, *drying oven*, termometer skala/ 0-100^oc, *digital balance*, cetakan, cawan petri, motor pengaduk , *zipbag lock*, pipet, stopwatch, pengaduk, botol sampel, dan *desiccator* sedangkan peralatan analisisnya yaitu *universal testing machine*, *desiccator* , micrometer.

Prosedur Penelitian

Metode pembuatan *edible film* dimulai dengan mengekstrak rumput laut *Gracilaria coronopifolia* menjadi agar-agar, rumput laut direndam ke larutan H₂SO₄ 1 N dalam 5 liter air, kemudian dicuci hingga pH 7, di bekukan di lemari pendingin dan di saring endapannya yang kemudian dikeringkan pada suhu 60^oC. Sedangkan

untuk pembuatan *edible film* menurut metode yang dilakukan oleh cervera,dkk (2003), melalui tahapan-tahapan sebagai berikut / agar dan gelatin ditimbang dengan perbandingan massa 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10 (gr/gr). berdasarkan berat kering dari total campuran rumput laut *Gracilaria coronopifolia*-Gelatin yaitu 4 gram, ditambahkan gliserol dengan formulasi 4, 6, dan 8%, dan sorbitol dengan formulasi 20, 25, 30 dan 35% dan ditambahkan aquades hingga volume 120 mL. Adonan kemudian di panaskan sambil diaduk pada 375 rpm menggunakan *water batch* dengan suhu 80, 85, 90°C selama 25 menit . kemudian dituangkan 8 gr adonan kedalam cetakan, dan dioven selama 12 jam pada suhu 60°C. Setelah kering dikeluarkan dari cetakannya dan disimpan dari desikator selama 12 jam. *Edible film* pun siap dianalisis.

Hasil Penelitian

Penelitian *edible film* ini dilaksanakan di Laboraturium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung. Sedangkan analisis dilakukan di Laboraturium Kimia Fisik ITB Bandung. Penelitian ini diawali dengan penyiapain bahan baku agar-agar, setiap 250 gr rumput laut didapatkan 3-4 gram agar-agar yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan serta analisis *edible film*, dalam setiap pemasakan sebanyak 120 ml larutan total didapatkn 2-3 lembar *edible film*.

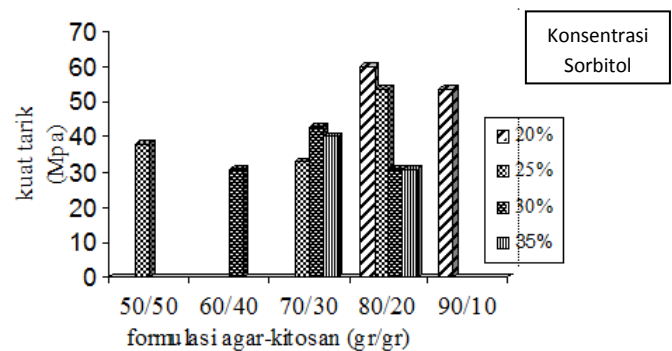
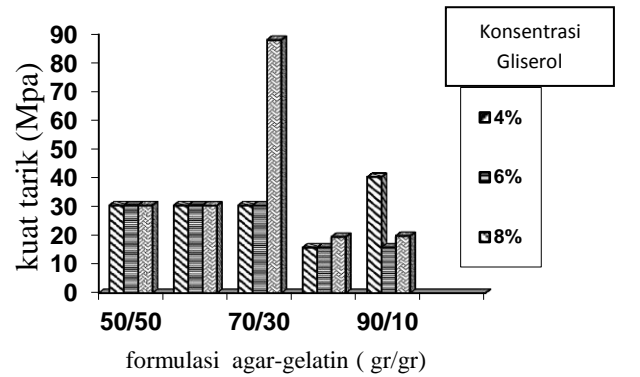
Pembahasan

Penelitian ini pernah dilakukan oleh oleh Sri Maya Utari pada tahun 2008 dengan menggunakan campuran agar-agar *gracilaria*, kitosan dengan gliserol, namun sifat mekanik bioplastik yang didapat kurang baik sehingga akan diujikan pembuatan plastik *biodegradable* menggunakan campuran rumput laut *gracilaria* dengan kitosan, gelatin untuk membuktikan apakah dengan variasi sorbitol dan gliserol sebagai plasticizer terhadap formulasi rumput laut *Gracilaria Coronopifolia* mempunyai pengaruh pada proses pembuatan plastik *biodegradabel* yang tahan air, fleksibel dan kuat yang sesuai dengan standar plastik yang ada di pasaran sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *edible film*. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya pemanfaatan plastik *biodegradable* dari rumput laut *Gracilaria coronopifolia* sebagai *edible film* (kemasan pangan), mengetahui pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *Gracilaria Coronopifolia*-Gelatin-kitosan dengan rasio 50/50,60/40,70/30,80/20,90/10 gr/gr terhadap sifat mekanik dan ketahanan air bahan bioplastik. Hasil penelitian berupa lembaran plastik berwarna kuning

kekoklatan yang selanjutnya diujikan secara mekanik .

Pengaruh formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia* terhadap terhadap Kuat tarik (*Tensile Strength*) *edble film*

Kuat tarik suatu *edible film* dipengaruhi oleh konsentrasi *plasticizer*.



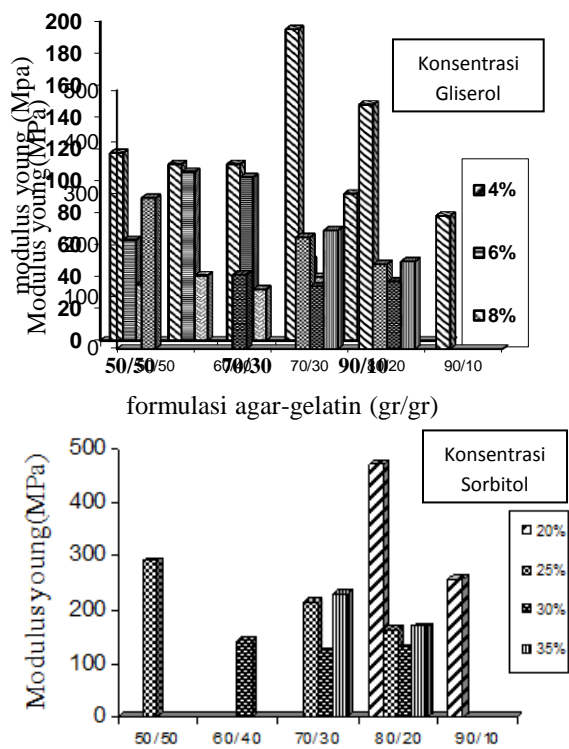
Gambar 1. Pengaruh formulasi terhadap kuat tarik *edible film*

Gambar. 1 menunjukkan hasil perhitungan uji mekanik *edible film* kuat tarik terbaik didapat saat konsentrasi gliserol 8 % dengan formulasi campuran agar-gelatin 70/30 dengan nilai kuat tarik sebesar 88.2 MPa dan hasil uji tarik terendah diperoleh pada konsentrasi gliserol 4 % dengan formulasi agar-gelatin 70/30 dengan nilai kuat tarik sebesar 15.92 MPa. Sedangkan untuk variasi agar-kitosan dan sorbitol kekuatan tarik bioplastik hasil perhitungan uji mekanik *edible film* kuat tarik terbesar didapat saat konsentrasi sorbitol 20% dengan formulasi campuran agar-kitosan 80/20 (gr/gr) dengan nilai kuat tarik sebesar 60.02 MPa dan hasil uji kuat tarik yang masuk dalam kriteria *edible film* yaitu konsentrasi sorbitol 30 % formulasi agar-kitosan 70/30 (gr/gr) dengan nilai kuat tarik sebesar 42.875 MPa. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi *plasticizer* maka *edible film* yang dihasilkan akan memiliki kuat tarik yang besar pula, selain itu massa agar-agar yang tinggi akan menyebabkan nilai kuat tarik yang tinggi pula dapat dilihat pada formulasi rumput laut 80/20

menunjukkan nilai kuat tarik yang besar pula, hal ini dikarenakan pati yang terkandung dalam agar dapat memperkuat *edible* tersebut. 80 % hasil analisis yang didapat memenuhi standart *edible film* yang ada dipasaran menurut *Journal of Food Engineering*.

Pengaruh formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia* terhadap terhadap Modulus Young *edible film*

Modulus young berperan penting pada elastisitas suatu bahan plastic. Berbeda dengan kuat tarik dan persen perpanjangan yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kuat tarik dan persen perpanjangan maka semakin bagus *edible film* yang dihasilkan, modulus young berbanding terbalik dengan pernyataan ini nilai modulus young yang kecil akan memberikan nilai elastisitas yang baik pada *edible film*, sedangkan nilai modulus young yang tinggi akan menyebabkan *edible film* yang dihasilkan akan semakin kaku.



Gambar 2 Pengaruh formulasi terhadap Modulus Young

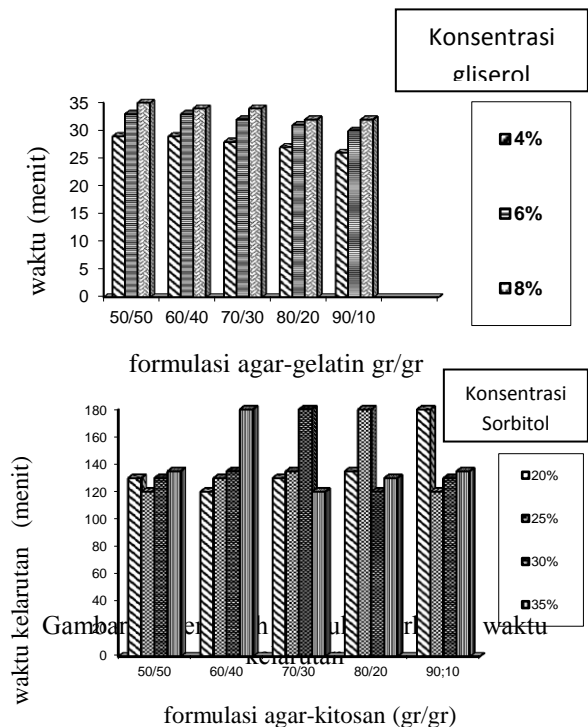
Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa *modulus young* terendah di miliki oleh campuran agar- gelatin pada formulasi 70/30 dengan konsentrasi gliserol 8 % sebesar 32.02 MPa, sedangkan nilai *modulus young* yang tinggi diperoleh pada formulasi 80/20 dengan konsentrasi gliserol 4% sebesar 195.03 Mpa. Sedangkan untuk formulasi agar-kitosan-sorbitol dapat dilihat bahwa *modulus young* terendah di miliki oleh campuran agar- kitosan pada formulasi 70/30 (gr/gr) dengan konsentrasi sorbitol 30%

sebesar 120.38 , sedangkan nilai *modulus young* yang tinggi diperoleh pada formulasi 80/20 (gr/gr) dengan konsentrasi sorbitol 20 % sebesar 471.905 MPa.

Hal ini membuktikan teori yang selama ini digunakan bahwa penambahan *plasticizer* akan menaikkan elastisitas plastik. Semakin besar giserol yang terkandung pada bahan maka nilai modulus young akan semakin kecil dan meningkatkan sifat elastisitas bahan, hal ini dikarenakan gliserol dapat memutuskan ikatan antarmolekul hidrogen pada bahan, sehingga elastisitas bahan akan meningkat dengan putusnya ikatan tersebut.

Pengaruh formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia* terhadap terhadap waktu kelarutan *edible film* di air

Waktu kelarutan sangat erat hubungannya pada lamanya *edible film* dicerna dalam tubuh, sehingga dapat mempengaruhi sistem pencernaan pengkonsumsinya. *Edible film* yang dihasilkan diharapkan mudah dicerna di dalam tubuh manusia, sehingga tidak mengganggu kesehatan. Gambar.5 menunjukkan pengaruh formulasi dan konsentrasi gliserol terhadap waktu kelarutan dalam air.



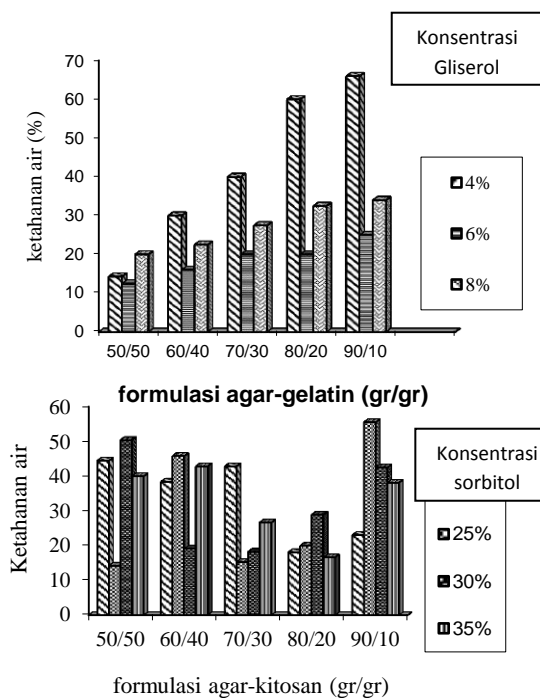
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa campuran agar-gelatin-gliserol yang memiliki konsentrasi gelatin terbesar waktu kelarutannya akan semakin besar pula, begitu sebaliknya. Begitu juga dengan *edible film* yang memiliki konsentrasi yang besar waktu kelarutannya akan meningkat pula. Hal ini dikarenakan gelatin dapat mengubah sifat benda materi menjadi hidrofobik (tidak suka pada air).

Waktu tercepat kelarutan ditunjukkan pada capuran agar-gelatin 90/10 dengan konsentrasi 4 %, dan waktu terlama kelarutan ditunjukkan pada formulasi 50/50 konsentrasi gliserol 6%. Sedangkan untuk formulasi agar-kitosan-sorbitol waktu tercepat kelarutan ditunjukkan pada campuran agar-kitosan 90/10 (gr/gr) dengan konsentrasi 25 %, dan waktu terlama kelarutan ditunjukkan pada formulasi 60/40 (gr/gr) konsentrasi sorbitol 35%.

Pengaruh formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia* terhadap terhadap Ketahanan air *edible film* di air

Uji ketahanan air dilakukan untuk mengetahui daya serap *edible film* terhadap air. *Edible film* yang dihasilkan haruslah memiliki tingkat penyerapan air yang rendah, hal ini disebabkan jika air terserap ke bahan besar, maka bahan yang tersimpan akan mudah membusuk.

Gambar .5 menunjukkan pengaruh formulasi dan konsentrasi gliserol terhadap ketahanan air *edible film*.



formulasi agar-kitosan (gr/gr)
Gambar 5. Pengaruh formulasi terhadap ketahanan air edible film

Dari gambar.5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi massa gelatin maka ketahanan air yang dimiliki oleh *edible film* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena gelatin memiliki sifat yang dapat mengubah suatu bahan dari sifat hidrofilik menjadi hidrofobik.

Pada campuran formulasi antara agar-agar – gelatin dengan konsentrasi *plasticizer* 4 % nilai ketahanan air terbaik diperoleh pada formulasi 50/50 sebesar 14.28 % dan yang terburuk pada formulasi 90/10 sebesar 66.66 %. Begitupula untuk konsentrasi gliserol 6 dan 8% hasil terbaik diperoleh pada formulasi 50/50 dengan nilai 12.5 dan 20 %, dan ketahanan air terburuk diperoleh saat formulasi 90/10 dengan nilai ketahanannya sebesar 25 dan 34 %. Pada formulasi antara agar – kitosan nilai ketahanan air terbaik didapat saat konsentrasi *plasticizer* 25 % , 50/50 (gr/gr) sebesar 14.28 % dan yang terbesar pada formulasi 90/10 (gr/gr) sebesar 55.54 %.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Fomulasi Agar-gelatin dan gliserol. memiliki sifat fisik dan mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan formulasi agar-kitosan dan sorbitol.
2. Hasil terbaik dari sifat mekanik diperoleh pada formulasi agar-gelatin 70/30 dengan konsentrasi gliserol 4% dengan nilai kuat tarik 30,625 MPa, persen perpanjangan 28,53 %, dan *Modulus Young* 110,54 Mpa dengan ketebalan 0,098 mm.
3. Waktu kelarutan *edible film* selama 30 menit, sesuai dengan standar pencernaan makanan dalam usus yang mencapai 1-2 jam pada pencernaan manusia, sehingga tidak mengganggu pencernaan.
4. Ketebalan Film yang dihasilkan berkisar 0.098-0.392 ini menunjukkan bahwa film yang dihasilkan sudah memenuhi standar.

Daftar Pustaka

Cervera, Mirna Fernandez. 2004. *Solid-State and Mechanical Properties of Aqueous Chitosan-Amylose Starch Films Plasticized With Polyols*. AAPS PharmSciTech. Finland

Paris, M., Bizot, H., Emery, J., Buzark, J. Y. and Bulkon, A. (1999). Crystallinity and structuring role of water in native and recrystallized starches by 13c CP-MAS NMR spec- troscopy. *Carbohydr. Polym.* 39,327-339.

Utari, sri. 2008. *Pembuatan Bioplastik Dari Campuran rumput laut gracilaria coronopifolia Dan Kitosan Dengan Gliserol Sebagai Plasticizer*. Teknik Kimia. Bandar Lampung

usmarlela,2009. *Studi Pemanfaatan Plastisiser
Gliserol Dalam Film Pati Ubi Engan Pengisi
Serbuk Batang Ubi Kayu*. Sekolah
pascasarjana Universitas sumatera
utara/Medan

<http://nugrohgalih.wordpress.com/2009/02/18/aplikasi-edible-film-komposit-dari-pati-ubi-kayu-dan-karagenan-sebagai-kemasan-ramah-lingkungan-pada-bumbu-instan-kering/>

SYNTHESIS BIOPLASTIC FROM *Gracilaria coronopifolia* SEAWEED AND GELATINE AS *EDIBLE FILM*

Meylina^[1], Yuli Darni^[2]

Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lampung University
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Telp. (0721) 701609
e-mail : meylina1@gmail.com

Abstract

Edible Film is defined as coat resident above or within food component. To the effect from research it which is syntheses bioplastic from Gracilaria coronopifolia seaweed as edible film, knowing gelatinisasi's temperature influence and grass formulation of Gracilaria Coronopifolia - Gelatine to mechanical character and water resistance of edible film and determines its optimum condition. In this studi does research about makings bioplastic mixed, Gelatine and gliserol as plasticizer by undertaking gelatinisasi's, temperature variation which is on $t = 80, 85, \text{ and } 95^\circ \text{C}$ and ratio massa variation among pati and gelatine which is 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 and 90:10 % (m / m). This result as edible film in shaped ply, with the best result is pointed out on seaweed formulation gelatine 70:30 gr / gr, gliserol's concentration 4%, with the result is Tensile Strength 30.625 Mpa and Modulus Young 110.54 Mpa.

Key word: Edible Film, Gelatine, Glycerin, Seaweed

I. PENDAHULUAN

Pola kehidupan manusia sekarang ini hampir tidak terpisahkan dari keberadaan bahan-bahan pengemas. peningkatan laju konsumsi dan teknologi pangan meningkatkan pula laju pembuangan kemasan bekas bahan pangan di lingkungan hidup manusia. sehingga mulai didapatkan masalah-masalah yang berasal dari sampah kemasan bahan pangan, apalagi kemasan dengan bahan yang sukar didegradasi secara alami seperti gelas, plastik, dan kaleng. hal tersebut memunculkan dorongan untuk mengkaji dan mencari solusi-solusi permasalahan ini, diantaranya adalah penelitian mengenai bahan kemasan yang bersifat ramah lingkungan tetapi juga mempunyai keunggulan khas jika diterapkan sebagai kemasan pada bahan pangan. (nugrohalih,2009). *Edible film* adalah salah satu jenis kemasan yang ramah lingkungan bahkan bisa langsung ikut dikonsumsi bersama pangan yang dikemasnya karena terbuat dari bagian bahan pangan alami tertentu. menurut parris et al. (1995), *edible film* berperan sebagai lapisan yang dapat didegradasi oleh bakteri dan terbuat dari sumber daya yang dapat diperbaharui. selain itu *edible film* memberikan perlindungan yang unik dengan mengurangi transmisi uap air, mempertahankan aroma dari bahan pangan yang dikemas, sifat *edible* tersebut merupakan karakteristik yang tidak didapatkan pada kemasan konvensional.

Edible Film sebagai bagian dari bahan pangan harus mempunyai komposisi yang dapat mendukung dan dapat diterapkan pada produk

pangan yang diinginkan. sifat fungsional, organoleptik, nutritional dan mekanik dari *edible film* dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan-bahan kimia tertentu, misalnya antioksidan, antimikroba, asam organik, nutrisi tambahan, flavor, pewarna dan lain-lain. Penelitian ini akan mencari kondisi optimum formulasi *edible film* yang menggunakan bahan baku ekonomis dengan sifat mekanik yang memenuhi standar.

II. METODE PENELITIAN

II.1 Alat Dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : rumput laut *gracilaria coronopifolia*, gelatin, gliserol, aquades, peralatan utama yang digunakan dalam penelitian antara lain gelas ukur (500 ml, 200 ml, 100 ml, 50 ml dan 10 ml), *water bath*, *drying oven*, termometer skala: 0-100^oc, *digital balance*, cetakan, cawan petri, motor pengaduk, *zipbag lock*, pipet, stopwatch, pengaduk, botol sampel, dan *desiccator* sedangkan peralatan analisisnya yaitu *universal testing machine*, *desiccator*, micrometer.

II.2 Prosedur Penelitian

Metode pembuatan *edible film* dimulai dengan mengekstrak rumput laut *Gracilaria coronopifolia* menjadi agar-agar, rumput laut direndam ke larutan H₂SO₄ 1 N dalam 5 liter air, kemudian dicuci hingga pH 7, di bekukan di lemari pendingin dan di saring endapannya yang

kemudian dikeringkan pada suhu 60°C. Sedangkan untuk pembuatan *edible film* menurut metode yang dilakukan oleh Cervera,dkk (2003), melalui tahapan-tahapan sebagai berikut : agar dan gelatin ditimbang dengan perbandingan massa 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 (gr/gr). berdasarkan berat kering dari total campuran rumput laut *Gracilaria coronopifolia*-Gelatin yaitu 4 grama, ditambahkan gliserol dengan formulasi 4, 6, dan 8%, dan ditambahkan aquades hingga volume 120 mL. Adonan kemudian di panaskan sambil diaduk pada 375 rpm menggunakan *water batch* dengan suhu 80, 85, 90°C selama 25 menit . kemudian dituangkan 8 gr adonan kedalam cetakan, dan dioven selama 12 jam pada suhu 60°C. Setelah kering dikeluarkan dari cetakannya dan disimpan dari desikator selama 12 jam. *Edible film* pun siap dianalisis.

III. HASIL PENELITIAN

Penelitian *edible film* ini dilaksanakan di Laboraturium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung. Sedangkan analisis dilakukan di Laboraturium Kimia Fisik ITB Bandung. Penelitian ini diawali dengan penyiapan bahan baku agar-agar, setiap 250 gr rumput laut didapatkan 3-4 gram agar-agar yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan serta analisis *edible film*, dalam setiap pemasakan sebanyak 120 ml larutan total didapatn 2-3 lembar *edible film*.



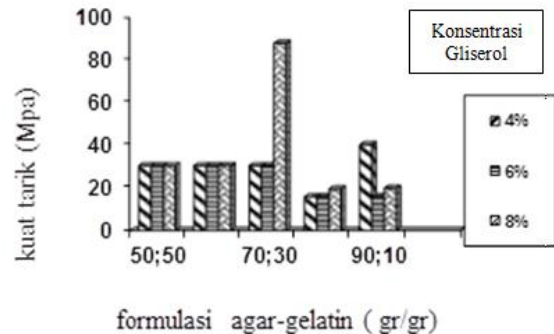
Gambar 1. . *Edible Film* campuran agar-agar gelatin

IV. PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan sebagai upaya pemanfaatan plastik biodegradable dari rumput laut *Gracilaria coronopifolia* sebagai *edible film* (kemasan pangan), mengetahui pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *Gracilaria Coronopifolia*-Gelatin dengan rasio 50:50,60:40,70:30,80:20,90:10 gr/gr terhadap sifat mekanik dan ketahanan air bahan bioplastik serta menentukan temperatur gelatinisasi yang terbaik dengan rentang suhu 80-90°C. Hasil penelitian berupa lembaran plastik berwarna kuning kecoklatan yang selanjutnya diujikan secara mekanik .

1. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Kuat tarik (*Tensile Strength*)

Kuat tarik suatu *edible film* dipengaruhi oleh konsentrasi *plasticizer*.

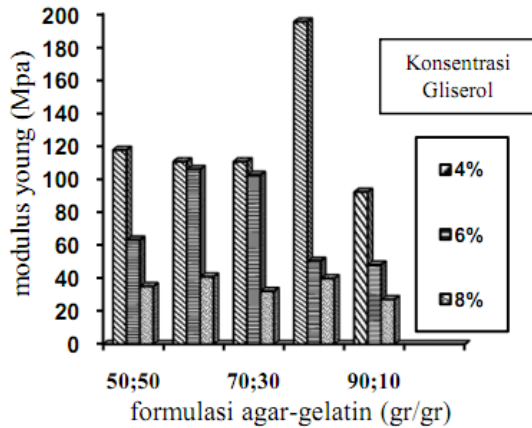


Gambar 2. Pengaruh formulasi agar-gelatin terhadap kuat tarik *edible film*

Gambar. 2 menunjukkan hasil perhitungan uji mekanik *edible film* kuat tarik terbaik didapat saat konsentrasi gliserol 8 % dengan formulasi campuran agar-gelatin 70:30 dengan nilai kuat tarik sebesar 88.2 MPa dan hasil uji tarik terendah diperoleh pada konsentrasi gliserol 4 % dengan formulasi agar-gelatin 70:30 dengan nilai kuat tarik sebesar 15.92 MPa. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi *plasticizer* maka *edible film* yang dihasilkan akan memiliki kuat tarik yang besar pula, selain itu massa agar-agar yang tinggi akan menyebabkan nilai kuat tarik yang tinggi pula dapat dilihat pada formulasi rumput laut 80:20 menunjukkan nilai kuat tarik yang besar pula, hal ini dikarenakan pati yang terkandung dalam agar dapat memperkuat *edible* tersebut. 80 % hasil analisis yang didapat memenuhi standart *edible film* yang ada dipasaran menurut *Journal of Food Engineering*

2. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap *Modulus Young*

Modulus young berperan penting pada elastisitas suatu bahan plastic dan persen perpanjangan yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kuat tarik dan persen perpanjangan maka semakin bagus *edible film* yang dihasilkan, modulus young berbanding terbalik dengan pernyataan ini nilai modulus young yang kecil akan memberikan nilai elastisitas yang baik pada *edible film*, sedangkan nilai modulus young yang tinggi akan menyebabkan *edible film* yang dihasilkan akan semakin kaku.

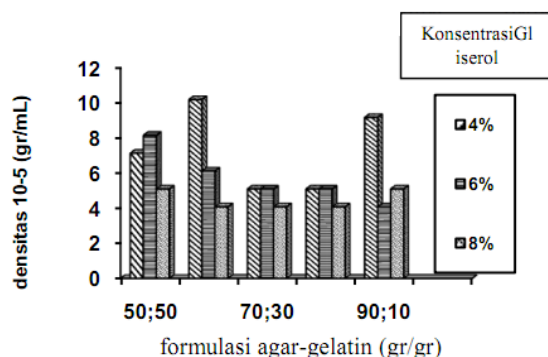


Gambar 3. Pengaruh formulasi agar-gelatin terhadap Modulus Young

Dari gambar.3 dapat dilihat bahwa *modulus young* terendah di miliki oleh campuran agar- gelatin pada formulasi 70:30 dengan konsentrasi gliserol 8 % sebesar 32.02 MPa, sedangkan nilai *modulus young* yang tinggi diperoleh pada formulasi 80:20 dengan konsentrasi gliserol 4% sebesar 195.03 MPa hal ini membuktikan teori yang selama ini digunakan bahwa penambahan *plasticizer* akan menaikkan elastisitas plastik. Semakin besar giserol yang terkandung pada bahan maka nilai modulus young akan semakin kecil dan meningkatkan sifat elastisitas bahan, hal ini dikarenakan gliserol dapat memutuskan ikatan antarmolekul hidrogen pada bahan, sehingga elastisitas bahan akan meningkat dengan putusanya ikatan tersebut.

3. Densitas *edible film* campuran agar-gelatin

Densitas (kerapatan dalam air) dipengaruhi oleh massa, semakin tinggi massa gelatin maka nilai densitas juga akan semakin tinggi. Hali ini dikarenakan gelatin mengubah *edible film* menjadi bersifat hidrofobik, sehingga kerapatan dalam airnya juga akan semakin kecil, hal ini dapat dilihat pada gambar.10.



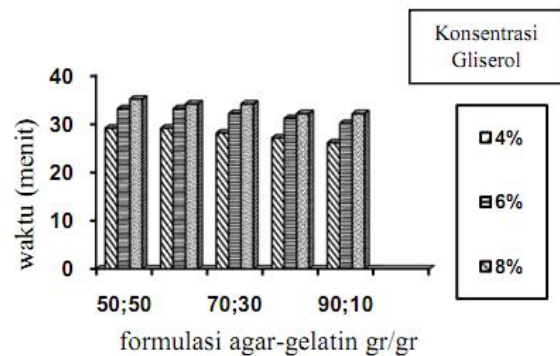
Gambar 4. Pengaruh formulasi agar-gelatin terhadap densitas

Dari gambar.4 dapat dilihat bahwa *edible film* yang memiliki densitas yang besar yaitu $10.10 \cdot 10^{-5}$ gr/ml pada formulasi 60:40 dibanding dengan

densitas yang memiliki konsentras gelatin kecil yaitu 5.10^{-5} gr/ml pada formulasi 80:20 pada konsentrasi gliserol 8%.

4. Waktu kelarutan *edible film* di air

Waktu kelarutan sangat erat hubungannya pada lamanya *edible film* dicerna dalam tubuh, sehingga dapat mempengaruhi sistem pencernaan pengkonsumsinya. *Edible film* yang dihasilkan diharapkan mudah dicerna di dalam tubuh manusia, sehingga tidak mengganggu kesehatan. Gambar.5 menunjukkan pengaruh formulasi dan konsentrasi gliserol terhadap waktu kelarutan dalam air.



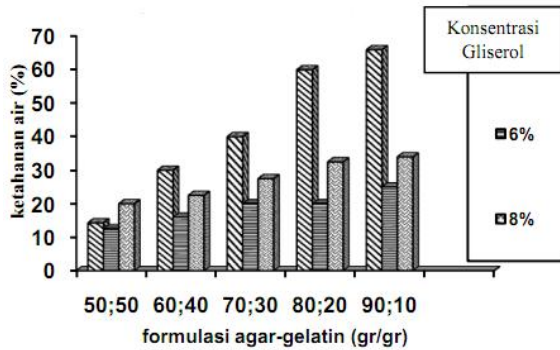
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi agar-gelatin terhadap waktu kelarutan

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa campuran pati-gelatin yang memiliki konsentrasi gelatin terbesar waktu kelarutannya akan semakin besar pula, begitu sebaliknya. Begitu juga dengan *edible film* yang memiliki konsentrasi yang besar waktu kelarutannya akan meningkat pula. Hal ini dikarenakan gelatin dapat mengubah sifat benda materi menjadi hidrofobik (tidak suka pada air). Waktu tercepat kelarutan ditunjukkan pada capuran agar-gelatin 90:10 dngan konsentrasi 4 %, dan waktu terlama kelarutan ditunjukkan pada formulasi 50:50 konsentrasi gliseol 6%.

5. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Ketahanan air

Uji ketahanan air dilakukan untuk mengetahui daya serap *edible film* terhadap air. *Edible film* yang dihasilkan haruslah memiliki tingkat penyerapan air yang rendah, hal ini disebabkan jika air terserap ke bahan besar, maka bahan yang tersimpan akan mudah membusuk. Hasil uji ketahanan air pada *edible film* campuran aga-agar – gelatin dengan *plasticizer* dapat dilihat pada lampiran A tabel A..3.

Gambar .6 menunjukkan pengaruh formulasi dan konsentrasi gilserol terhadap ketahanan air *edible film*.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi agar-gelatin terhadap ketahanan air edible film

Dari gambar.6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi massa gelatin maka ketahanan air yang dimiliki oleh *edible film* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena gelatin memiliki sifat yang dapat mengubah suatu bahan dari sifat hidrofilik menjadi hidrofobik.

Pada campuran formulasi antara agar-agar – gelatin dengan konsentrasi *plasticizer* 4 % nilai ketahanan air terbaik diperoleh pada formulasi 50:50 sebesar 14.28 % dan yang terburuk pada formulasi 90:10 sebesar 66.66 %. Begitupula untuk konsentrasi gliserol 6 dan 8% hasil terbaik diperoleh pada formulasi 50:50 dengan nilai 12.5 dan 20 %, dan ketahanan air terburuk diperoleh saat formulasi 90:10 dengan nilai ketahanannya sebesar 25 dan 34 %.

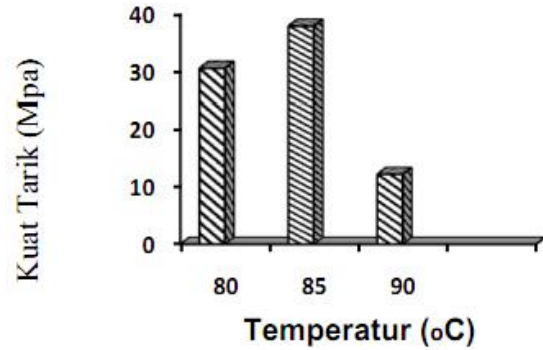
Secara keseluruhan ketahanan air terbaik diperoleh pada formulasi agar-agar – gelatin 50:50 dengan konsentrasi *plasticizer* 6% dengan nilai ketahanan airnya sebesar 12.5 %, sedangkan nilai ketahanan air terburuk diperoleh pada formulasi agar-agar – gelatin 90:10 dengan konsentrasi *plasticizer* 4% dengan nilai ketahanan airnya sebesar 66.66 %. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi massa gelatin, maka ketahanan airnya akan semakin kecil. Data ketahanan air *edible film* dapat dilihat pada lampiran A tabel 3.

- Temperatur Gelatinisasi Yang Terbaik Untuk Formulasi Rumput Laut *Gracilaria Coronopifolia*-Gelatin

Pada penelitian ini salah satu hal yang divariasikan adalah temperatur gelatinisasi, yang digunakan untuk mengetahui temperatur yang tepat campuran agar-gelatin.

Sifat mekanik *edible film* campuran agar-gelatin dengan *plasticizer* gliserol

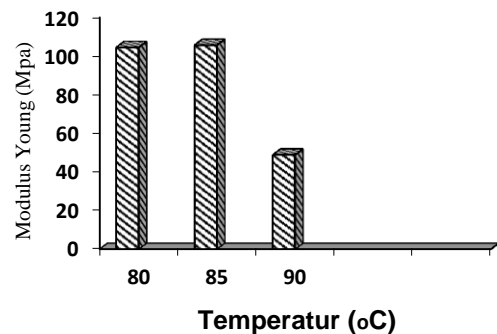
1. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Kuat Tarik



Gambar 7. Pengaruh temperatur terhadap kuat tarik edible film

Temperatur gelatinisasi sangat menentukan kualitas mekanik *edible film* hal ini dikarenakan temperatur gelatinisasi yang tepat menyebabkan campuran antara rumput laut dan gelatin akan bereaksi dan berikatan secara sempurna, sehingga meningkatkan sifat mekanik *edible film* dalam hal ini kuat tarik, gambar.7 menunjukkan bahwa kuat tarik tertinggi ditunjukkan pada temperaur gelatinisasi 85°C dengan kuat tarik sebesar 37.97 Mpa, namun pada temperatur 90°C kuat tarik yang dimiliki *edible film* ini mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa temperatur gelatinisasi yang baik adalah 85°C.

2. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Modulus Young *edible film* campuran agar-gelatin



Gambar 8. Pengaruh temperatur terhadap Modulus Young *edible film*

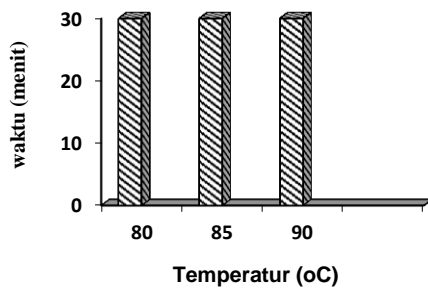
Gambar 8 menunjukkan bahwa Modulus Young yang dihasilkan mempunyai kualitas *edible film* berdasarkan standar *jurnal of food engineering*, ditunjukkan pada temperaur gelatinisasi 80 dan 85 °C sebesar 104.62 dan 106.41 Mpa hal ini menunjukkan bahwa kedua temperature diatas menghasilkan Modulus Young yang sesuai yang berkisar antara 100-400 Mpa seperti yang sudah dijelaskan diatas bahwa konsentrasi *plasticizer* dalam hal ini gliserol dapat memutuskan ikatan

hidrogen pada bahan sehingga dapat meningkatkan elastisita bahan..

pembuatan *edible film*, sehingga merusak adonan dan menurunkan sifat mekanik *edible film* itu sendiri..

3. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Waktu Kelarutan

Gambar .9 menunjukkan waktu kelarutan dalam air *edible film* dengan variasi temperatur 80,85 dan 90°C.

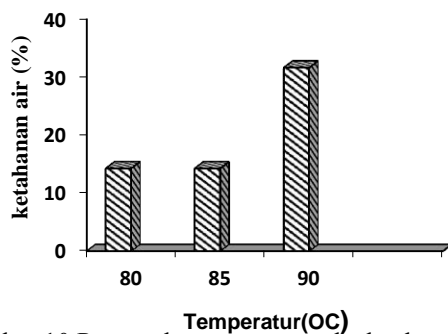


Gambar 9. Pengaruh temperatur terhadap waktu kelarutan *edible film*

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa waktu kelarutan *edible film* pada ke tiga variasi temperatur berada dalam rentan waktu 30 menit, hal ini menunjukkan bahwa temperatur tidak terlalu berpengaruh pada waktu kelarutan *edible film* yang dihasilkan dibandingkan dengan formulasi.

4. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Ketahanan Air

Gambar .10 menunjukkan pengaruh variasi temperatur terhadap ketahanan air *edible film*.



Gambar 10. Pengaruh temperatur terhadap ketahanan air *edible film*

Dari gambar.10 dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan signifikan dari perbedaan temperatur yang divariasikan. Ini terlihat dari hasil analisis pada temperatur 80 dan 85°C densitas, ketahanan air, dan waktu kelarutan menunjukkan angka yang sama, hanya saja pada temperatur 90°C terjadi penurunan, hal ini mungkin terjadi karena Temperatur tersebut melebihi suhu optimal

5. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* terhadap formulasi rumput laut *gracilaria coronopifolia*-gelatin terhadap Ketebalan

Tabel 1. Ketebalan Edible Film

| Konsentrasi gliserol (%) | Ratio Massa (gr/gr) | Ketebalan (mm) |
|--------------------------|---------------------|----------------|
| 4 | 50:50 | 0.100 |
| | 60:40 | 0.098 |
| | 70:30 | 0.154 |
| | 80:20 | 0.146 |
| | 90:10 | 0.146 |
| 6 | 50:50 | 0.116 |
| | 60:40 | 0.192 |
| | 70:30 | 0.194 |
| | 80:20 | 0.154 |
| | 90:10 | 0.139 |
| 8 | 50:50 | 0.156 |
| | 60:40 | 0.140 |
| | 70:30 | 0.100 |
| | 80:20 | 0.104 |
| | 90:10 | 0.102 |

Ketebalan *edible film* yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel.7 diatas, diketahui bahwa *edible film* yang dihasilkan sudah mencapai standar *edible film* yang telah ditetapkan dengan ketebalan berkisar antara 0,1-0,5 mm. Ketebalan sendiri tergantung pada saat proses pencetakan *edible film*. Massa dan waktu pengeringan yang tepat saat pencetakan, mempengaruhi nilai ketebalan *edible film*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Pada variasi temperature pemasakan pada 80,85,90°C didapat sifat mekanik dan sifat fisik terbaik berada pada temperature 80°C.
2. Hasil terbaik dari sifat mekanik diperoleh pada formulasi agar-gelatin 70:30 dengan konsentrasi gliserol 4% dengan nilai kuat tarik 30,625 MPa, persen perpanjangan 28,53 %, dan *Modulus Young* 110,54 Mpa dengan ketebalan 0,098 mm.
3. Waktu kelarutan *edible film* selama 30 menit, sesuai dengan standar pencernaan makanan dalam usus yang mencapai 1-2 jam pada pencernaan manusia, sehingga tidak mengganggu pencernaan.

4. Ketebalan Film yang dihasilkan berkisar 0.098-0.192 ini menunjukkan bahwa film yang dihasilkan sudah memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Cervera, Mirna Fernandez. 2004. *Solid-State and Mechanical Properties of Aqueous Chitosan-Amylose Starch Films Plasticized With Polyols*. AAPS PharmSciTech. Finland
- Paris, M., Bizot, H., Emery, J., Buzark, J. Y. and Bulkon, A. (1999). Crystallinity and structuring role of water in native and recrystallized starches by ¹³C CP-MAS NMR spectroscopy. *Carbohydr. Polym.* 39,327-339.
- Yusmarlela, 2009. *Studi Pemanfaatan Plastisiser Gliserol Dalam Film Pati Ubi Engan Pengisi Serbuk Batang Ubi Kayu*. Sekolah pascasarjana Universitas Sumatera utara: Medan
- <http://nugrohgalih.wordpress.com/2009/02/18/aplikasi-edible-film-komposit-dari-pati-ubi-kayu-dan-karagenan-sebagai-kemasan-ramah-lingkungan-pada-bumbu-instan-kering/>

INFLUENCE WASHING BIODIESEL WITH SPRAY WASHING METHOD TO BIODIESEL QUALITY FROM REFINED PALM OIL (RPO)

PENGARUH PENCUCIAN BIODIESEL DENGAN METODE PENCUCIAN SECARA *SPRAY WASHING* TERHADAP KUALITAS BIODIESEL DARI *REFINED PALM OIL (RPO)*

Jemmy Ignatius^{*}, Sufriadi Burhanuddin.^{**}

Student of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Lampung University
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Lampung University, Bandar Lampung,
Indonesia 35145

ABSTRACT

The purpose this research is to know washing process with spray method, along with to know influence washing time duration, spray flow rate of wash water, and wash water temperature about pH, color, and biodiesel viscosity after washing process. The variable to research is washing time duration, that is 1, 2, 3 hours, wash water temperature is 50 and 60 °C, and sprayer with flowrate 4 ml/s and 1,667 ml/s. The best experiment of biodiesel washing is 1 hours to washing time duration, 50 °C to wash water temperature, spray flowrate of wash water is 4 ml/s, with yield of pH is 7,08, viscosity is 4,176, and the color is same with RPO, that is bright yellow. From this research can be conclusion, that washing time duration is very influence to pH, viscosity and biodiesel color better than wash water temperature. The washing time duration is mutual influence with wash water flow rate.

Keywords: Biodiesel, Biodiesel Washing, Spray Washing.

PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif sangat diperlukan seiring terus meningkatnya penggunaan dan menipisnya cadangan minyak bumi. Salah satu sumber energi alternatif yang memungkinkan untuk dikembangkan adalah biodiesel. Biodiesel sebagai sumber energi alternatif dapat digunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan segala komposisi pada petrosolar; mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel tanpa modifikasi; dapat terdegradasi (*biodegradable*); asap buangan biodiesel tidak hitam; emisi pembuangan biodiesel ramah lingkungan (prakoso, 2003).

Biodiesel dapat dibuat secara *batch* atau kontinyu melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi minyak nabati atau lemak hewani yang mengandung trigliserida dengan cara mereaksikannya dengan alkohol. Dari hasil transesterifikasi akan dihasilkan produk utama berupa biodiesel dan gliserol sebagai hasil samping.

Setelah proses transesterifikasi atau esterifikasi dilakukan, biodiesel yang dihasilkan belumlah cukup memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (SNI). Hal ini dikarenakan, dalam biodiesel masih terkandung senyawa seperti *excess* metanol, sisa katalis, gliserol, dan trigleseridayang tidak ikut bereaksi. Oleh sebab itu perlu

*Corresponding author.

Email address : Jemmy_Ignatius@yahoo.co.id

Dilakukan proses berikutnya, yaitu proses pencucian biodiesel.

Proses pencucian pada biodiesel merupakan salah satu proses penting dalam pembuatan biodiesel, dimana proses ini akan mempengaruhi kualitas biodiesel. Kualitas dari biodiesel sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan yang masih bercampur dengan produk biodiesel tersebut seperti sisa katalis, gliserol, methanol yang tidak bereaksi, serta trigliserida yang tidak bereaksi. Bahan-bahan

tersebut dapat mengganggu kinerja dari mesin diesel.

Pencucian biodiesel ini melibatkan air sebagai media pencuci. Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak sekali zat kimia. Dalam proses pencucian biodiesel mempunyai hambatan dan tantangan. Hambatan ini biasanya ditemui ketika proses pencucian sedang berlangsung, seperti biodiesel yang mempunyai kandungan gliserol yang banyak cenderung lebih

susah untuk dicuci dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk kemurnian biodiesel yang sesuai dengan Standar Biodiesel Indonesia (SNI). Selain kondisi awal biodiesel yang akan dicuci, pemilihan jenis metode pencucian mempunyai kesulitan tersendiri pada saat proses pencucian. Seperti pada contoh pencucian biodiesel menggunakan metoda *bubble washing*, gelembung udara yang dihasilkan untuk mencuci biodiesel harus banyak, ukurannya harus seragam, dan gelembung ini harus tersebar

pada seluruh bagian kolom pencucian atau bak pencucian. Sedangkan untuk metoda pencucian *spray washing*, hambatan yang ditemui adalah air yang disemprotkan oleh *sprayer* harus merata ke seluruh permukaan biodiesel agar campuran biodiesel yang tidak diinginkan dapat terikat oleh air secara merata.

Tabel 1. Karakteristik Biodiesel

| | |
|-------------------------|---|
| Nama Lain | : Methyl ester |
| Fisik | : Liquid |
| Kelarutan | : Sulit terdispersi dalam air ; sangat larut dalam etanol, eter dan pelarut organik lain. |
| Viskositas | : Viskositas pada suhu 60 °C tidak kurang dari 3 cPs |
| Rumus Molekul | : C ₁₇ H ₃₃ CO ₂ CH ₃ |
| Berat molekul | : 296 |
| spesifik gravity | : 0,879 |

Sumber : *Aqualon Co, a Hercules incorporated company*, 1988 ^[5]

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : *Rifined Palm Oil* (RPO) yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini, Metanol yang digunakan adalah metanol tipe teknis dengan kemurnian 96%, Katalis yang digunakan adalah katalis basa yaitu NaOH. Air berfungsi sebagai bahan pencuci biodiesel untuk menghilangkan sisa katalis, metanol dan gliserol. Air yang digunakan yaitu air hangat dengan suhu 30°C-60°C(suhu yang digunakan 50°C dan 60° C), dan air yang digunakan adalah *fresh water*.

Alat

Alat – alat yang digunakan yaitu gelas ukur, *waterbatch*, timbangan analitis, *stopwatch*, pH meter, FTIR, Viskometer, kolom pencucian, *sprayer* ,selang, tangki penampung air pencuci, keran, dan pompa *peristaltic*.

PROSEDUR KERJA

Cara kerja kolom pencucian dengan metode *spray washing*

Kolom pencucian dengan metode *spray washing* mempunyai spesifikasi alat berbentuk balok dengan ukuran panjang 12,5 cm lebar 12,5 cm dan tinggi 30 cm, sehingga volumenya adalah 4,8 dm³. Langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah pertama-tama menuangkan biodiesel kedalam kolom pencucian, kemudian masukan air pencuci kedalam *water bath*, setelah itu hidupkan *stop contact* yang terhubung dengan pompa *peristaltic* agar pompa dapat memompakan air pencuci ke kolom pencucian. Air pencuci yang dipompakan terlebih dahulu diatur laju alirnya dengan mata *sprayer*(sesuai dengan laju semprotan yang divariasikan). *Sprayer* yang digunakan adalah tipe *sprayer* yang menyemprotkan secara menyeluruh(360°) dengan variasi pada mata *sprayer*. Ketika air pencuci telah di semprotkan maka air pencuci akan berkontak dengan biodiesel, setelah melewati rentang waktu yang telah divariasikan maka akan terjadi dua lapisan. Lapisan atas merupakan biodiesel dan lapisan bawah merupakan air pencuci, setelah itu biodiesel akan di pisahkan dengan air pencuci dengan cara mengeluarkan biodiesel melewati keran (keran untuk keluaran biodiesel). Keran untuk keluaran air pencuci, dimana keluaran air pencuci akan di tampung dalam wadah untuk mengetahui berapa banyak *fresh water* yang digunakan.

Deskripsi proses pencucian dengan menggunakan metode *spray washing*

Pada proses pencucian biodiesel, sampel diambil dari hasil pembuatan biodiesel awal yang minimal didiamkan selama 8 jam, pengambilan sampel ini bertujuan bahwa telah terjadi pemisahan awal antara biodiesel dengan gliserol dan ini bias terlihat dengan adanya 2 lapisan. Proses pencucian biodiesel ini melibatkan pencampuran dengan air. Air densitasnya lebih berat dari pada biodiesel dan menyerap kelebihan alkohol, sodium hidroksida (katalis), dan sabun yang tersuspensi didalam biodiesel. Setelah proses pencucian dan pengendapan, air dan produk samping yang tidak diinginkan dalam air bisa dikeluarkan dari dasar kolom pencucian. Langkah awal adalah membuat kolom pencucian, membuat *sprayer* diatas kolom pencucian, lalu menyemprotkan air ke dalam kolom pencucian yang ada biodiesel tersebut. Air akan menuju ke dasar kolom karena densitas air lebih besar dari pada densitas biodiesel. Sebelum menuju kedasar kolom air akan mengikat atau bercampur dengan *excess* metanol, sisa katalis, trigliserida dan gliserol. Setelah campuran air dan produk samping yang tidak diinginkan berada di dasar kolom pencucian, keran pengeluaran dibuka supaya campuran larutan tersebut keluar dan terpisah dengan biodiesel sehingga kadar kemurniannya lebih baik.

Persiapan Alat dan Bahan Baku

Kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan alat dan bahan baku meliputi pembuatan reaktor *batch*, dan *heater*. Bahan baku *Refined Palm Oil* (RPO). Sementara Metanol dan Katalis natrium hidroksida (NaOH).

Analisis Sampel

Analisis warna sampel biodiesel dilakukan dengan cara membandingkan warna biodiesel sampel setelah dicuci dengan biodiesel yang dijadikan indikator.



Gambar 3.2 warna biodiesel setelah pencucian.

Pengukuran vislositas dilakukan dengan cara mengambil sampel biodiesel kemudian dilakukan

pengukuran viskositas dengan menggunakan viskometer.

Pengukuran pH dilakukan dengan cara mengambil sampel biodiesel kemudian dilakukan pengukuran pH dengan menggunakan pHmeter atau menggunakan kertas lakmus.



Gambar 3.3 analisis pH biodiesel dengan kertas lakmus

Setelah melakukan penelitian, pengamatan, pengambilan data dan perhitungan maka diperoleh data tentang kualitas biodiesel yang diwakili oleh data warna sampel, pH, serta viskositas sampel biodiesel yang telah dicuci.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel biodiesel yang dihasilkan dari reaktor *batch* berpengaduk didiamkan selama \pm 8 jam untuk pemisahan secara sempurna antara lapisan biodiesel dan lapisan gliserol. Produk yang dihasilkan akan membentuk 2 lapisan dimana lapisan yang paling bawah adalah lapisan yang mengandung banyak gliserol (*glycerol rich phase*) dan lapisan atas yang mengandung biodiesel. Pemisahan dilakukan dengan menggunakan labu pemisah yang prinsipnya adalah perbedaan densitas dari masing-masing cairan. Cairan yang memiliki densitas yang paling besar akan membentuk lapisan yang paling bawah dan cairan yang densitasnya lebih kecil akan membentuk lapisan yang paling atas.

Biodiesel yang telah dilakukan pemisahan, selanjutnya digunakan sebagai bahan baku penelitian mengenai "Pengaruh Temperatur Air Pencuci, Waktu Dan Metode Pencucian Secara *Spray Washing* Terhadap Kualitas Biodiesel Dari *Rifine Palm Oil* (RPO)".

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data-data hasil penelitian yang didapatkan dengan melakukan variasi terhadap dua parameter yaitu lama waktu pencucian, laju alir air pencuci, dan temperatur air pencuci. Produk pencucian biodiesel yang dihasilkan kemudian dipisahkan dengan air pencuci, pemisahan dilakukan dengan menggunakan labu pemisah. Prinsip pemisahannya adalah berdasarkan perbedaan densitas dari masing-masing cairan. Cairan yang memiliki densitas paling

besar akan membentuk lapisan paling bawah dan cairan yang memiliki densitas paling kecil akan membentuk lapisan paling atas. Setelah itu biodiesel yang diambil setelah proses pencucian didiamkan selama 2-6 hari untuk memperoleh warna biodiesel yang lebih jernih. Pada penelitian ini analisis hanya dilakukan pada hasil pencucian biodiesel sedangkan air yang digunakan dalam proses pencucian tidak dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan meliputi analisis viskositas kinematik pada 40°C, pH dan analisis warna biodiesel dibandingkan dengan warna bahan bakunya.

Berdasarkan laporan hasil pengujian viskositas dengan nomor laporan 004/BIOMASS/12/2010 dengan jenis sampel biodiesel, parameter uji adalah viskositas (ASTM D-445) serta tipe alat canonske opaque viscometer/ NVS210 capillary tube volume 50 tipe 57475 dan H 134 serta analisis menggunakan pH menggunakan KNICK pH-Meter 761 Calimatik didapatkan data hasil penelitian yang ditabulasi pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Data hasil dari penelitian

| Run | Mata Sprayer | T (°C) | T (jam) | Viskositas (ASTM D-445) | pH | Warna |
|-----|--------------|--------|---------|-------------------------|------|----------|
| 1 | 1 | 50 | 1 | 4,116 | 7,69 | k.terang |
| 2 | 1 | 60 | 1 | 4,167 | 7,49 | k.terang |
| 3 | 4 | 50 | 1 | 4,176 | 7,07 | k.terang |
| 4 | 4 | 60 | 1 | 4,120 | 6,80 | k.terang |
| 5 | 1 | 50 | 2 | 4,337 | 6,83 | k.terang |
| 6 | 1 | 60 | 2 | 4,254 | 6,42 | k.pekat |
| 7 | 4 | 50 | 2 | 4,266 | 6,57 | k.terang |
| 8 | 4 | 60 | 2 | 4,258 | 6,52 | k.terang |
| 9 | 1 | 50 | 3 | 4,364 | 6,44 | k.pekat |
| 10 | 1 | 60 | 3 | 4,479 | 5,10 | k.pekat |
| 11 | 4 | 50 | 3 | 4,313 | 6,06 | k.pekat |
| 12 | 4 | 60 | 3 | 4,377 | 6,54 | k.terang |

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

Keterangan : k. terang = kuning terang , k. pekat = kuning pekat

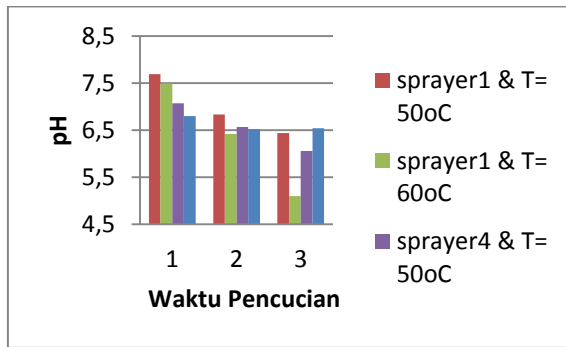
Penelitian mengenai “Pengaruh Metode Pencucian Secara Spray Washing Terhadap Kualitas Biodiesel Yang Dihasilkan Dari Refined Palm Oil (RPO)” ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja proses pencucian biodiesel secara batch menggunakan metode *spray washing* serta untuk mengetahui pengaruh dari lama waktu pencucian, laju alir air pencuci serta, temperatur air pencuci yang digunakan dengan metode *spray washing* terhadap Warna, pH serta Viskositas dari biodiesel yang dihasilkan dari bahan baku *Rifine Palm Oil (RPO)*. Pada penelitian ini waktu pencucian divariasikan = 1 ; 2 dan 3 jam, temperatur air pencuci yang digunakan divariasikan 50 dan 60 °C, serta laju alir sebesar 4 ml/s dan 1,667 ml/s.

Dalam proses pencucian ini hal pertama dilakukan adalah penyiapan alat-alat pencucian seperti *sprayer*, selang, batang penyanggah *sprayer*, kolom pencucian, pompa air, dan *water bath*, serta mengukur volume biodiesel yang akan dicuci (1 liter) Biodiesel yang sudah diukur volumenya ini dimasukkan kedalam kolom

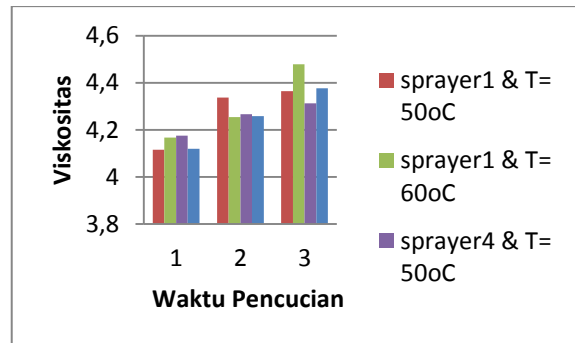
pencucian,selanjutnya dilakukan pemanasan air pencuci di dalam *water bath* sesuai dengan variabel yang telah ditentukan, lalu hidupkan pompa dalam *water bath* agar air pencuci dapat dipompakan ke *sprayer* dan *sprayer* dapat menyemprotkan air pencuci ke biodiesel. Hal tersebut dilakukan pada run ke 1 hingga run ke 12.

Pada contoh run pertama hingga ke dua belas, Ketika air pencuci mulai disemprotkan, air pencuci menyebar ke permukaan biodiesel dan perlahan turun kebawah permukaan kolom pencucian melewati biodiesel. air pencuci yang berada dibawah biodiesel terlihat keruh seperti air susu menandakan bahwa air pencuci telah mengikat sisa-sisa katalis, sisa-sisa metanol yang terkandung dalam biodiesel.

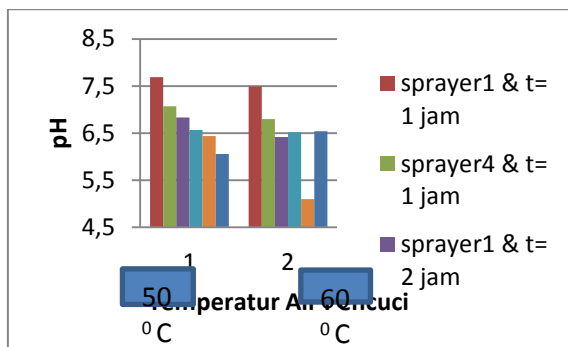
Pengaruh waktu pencucian terhadap Ph



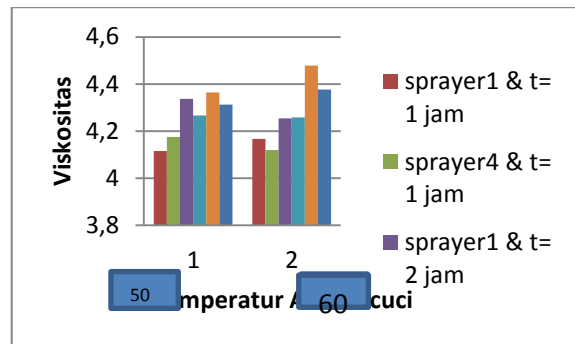
Pengaruh waktu pencucian terhadap viskositas



Pengaruh temperatur pencucian terhadap pH



Pengaruh temperature pencucian terhadap viskositas



KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan penelitian yang berjudul “ Pengaruh Pencucian Biodiesel Dengan Metode *Spray Washing* Terhadap Kualitas Biodiesel Dari *Refined Palm Oil* “ maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Metode pencucian secara *spray washing* dapat digunakan dalam proses pencucian biodiesel secara *batch*. Nilai viskositas terbaik pada penelitian ini dihasilkan pada waktu pencucian 1 jam, sedangkan pH yang terbaik didapat pada waktu pencucian 1 jam dengan *sprayer* dengan laju 4 ml/s. Untuk warna biodiesel didapat pada waktu pencucian 1 jam. Hasil run terbaik di peroleh pada *run* ke-3 dengan lama waktu pencucian 1 jam, temperatur air pencuci 50^o C, *sprayer* bermata 4, dengan hasil ph 7,01, viskositas 4,176, serta warna kuning terang.

Lama waktu pencucian mempengaruhi pH, viskositas, dan warna biodiesel. Temperatur air pencuci tidak terlalu mempengaruhi warna, pH, dan viskositas biodiesel pada penelitian ini. **DAFTAR PUSTAKA**

Addison, keith. 2003. http://journey to forever.org/biodiesel_bubble_wash.html

Atkin, PW. 1999. *Kimia Fisik Jilid 2*. Erlangga: Jakarta.

Balai Rekayasa Desain dan Sistem teknologi BPPT. 2005. *Pengembangan Biodiesel Indonesia dengan Teknologi Bangsa Sendiri : Kesempatan dan Tantangan*, Jakarta.

Freedman, B. et al. 1984. *Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils*. Jurnal American Oil Chemist Society.

Gerpen J.Van, et al. 2004. *Biodiesel Production Technology*. NREL. Colorado.

Hamid, Ali. 2007. *Sintesis dan Analisis Mutu Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Tesis Pascasarjana Teknik Kimia ITB. Bandung.

Proceeding Seminar Nasional Energi Terbarukan & Produksi Bersih 2012
Universitas Lampung (UNILA), Bandar Lampung, 20 Juli 2012

- Kanani, Nufus. 2006. *Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil dengan Menggunakan Continous Stirer Tank Reactor.* Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, ed 1. UI-Press, Jakarta.
- Knothe, G, Gerpen, J.V. dan Kral, Jurgen. 2005. *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press.
- Kirk R.E. and Othmer. 1980. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd edition. A Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons Co, New York.
- Ma Fangrui Hanna, et al 1999. *Biodiesel production : A Review*. Elsevier Science B.V.
- Mahfud, dkk. 2009. *Pengaruh Metode Pencucian Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar*. Jurnal Teknik Kimia vol.3, no.2 FTI-ITS.
- National Biodiesel Board. 2005. *NBB Members*. 30 Mei 2006 [http : //www. Biodiesel.org](http://www.Biodiesel.org).
- Pelly's, Mike. 2003. *Mike Pelly's Biodiesel Handbook*. <http://JourneyForever.org/Biodiesel.html>.
- Prakoso, Tirto. *Potensi Biodiesel Indonesia*. 3 April 2008 <http://www.google.com>.
- Prananingrum, Pratiwi. *Biodiesel dari Tanaman Jarak Sebagai Energi Alternatif Pengganti Solar*. 20 April 2008 <http://www.gbioscience05's> Weblog.
- Prihandana, Rama dkk. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah; Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Agro Media Nusantara, Jakarta.
- Soerawidjaja, T. H. 2005. *Menggagas Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia*. Prosiding Seminar Pelaksana Bisnis Industri Hilir Kelapa sawit, Serpong.
- Suprianti, Lilik. dkk. 2006. *Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar (Jatropha Oil) Dengan Proses Transesterifikasi*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.
- Tickell, J. 2000. *From the Fryer To The Fuel Tank* 3rd ed. Tickell Energy Consulting, USA.
- US Department of Energy. 2001. *Clean Cities-Alternative fuel Information Series*, USA.
- Van Gerpen J, B. Shanks, dkk. 2004. *Biodiesel Production Technology, National Renewable Energy Laboratory*. Operated For The U.S. Department Of Energy. <http://chem-is-try.org>.

Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi pada *Pretreatment* Minyak Goreng Bekas dalam Menghasilkan Biodiesel

Riska Aprilliani, Simparmin Br Ginting
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brodjonegoro No.1 Gedong Meneng, Bandar Lampung
Email: *riska.aprilliani@gmail.com*

ABSTRACT

Research on adsorption of free fatid acid (FFA) from used cooking oil has been done by using activated natural zeolite. The research aims to obtain the best FFA adsorption temperature indicated by the lowest FFA values for 10 minutes. Cooking oil with FFA content of lower than 0.5% can be converted into biodiesel via transesterification without going through the stages of esterification. In the research, the adsorption was done at a temperature variation of 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90°C for 10 minutes. The results showed that the best adsorption temperature occurred at 30°C and 40°C with decreasing in FFA value as big as 0.2176 (<0.5%). Furthermore, this treated used cooking oil was converted into biodiesel through transesterification stage.

Keywords: *Biodiesel, used cooking oil, adsorption*

Pendahuluan

Salah satu turunan minyak bumi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat sebagai bahan bakar adalah solar (diesel). Karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui maka persediaan solar semakin lama semakin menipis, sedangkan konsumsi solar masih tinggi. Sebagai solusi untuk menanggulangi masalah ini, maka diperlukan bahan bakar nabati sebagai pengganti solar (diesel), yaitu biodiesel. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dapat dilakukan dengan tiga tahap, yaitu pemurnian, esterifikasi, dan transesterifikasi.

Penelitian ini dititik beratkan pada proses pemurnian minyak jelantah untuk pembuatan biodiesel dengan menggunakan zeolit. Tahap pertama dalam pembuatan biodiesel adalah pemurnian minyak jelantah yang dimaksudkan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan impurities lainnya. Metode pemurnian yang dilakukan pada penelitian ini adalah terbagi dalam tiga tahap yaitu penghilangan bau (*despicing*), netralisasi dan pemucatan (*bleaching*) menggunakan adsorben zeolit.

Tahap esterifikasi dilakukan agar bilangan asam menurun hingga dibawah 0,5 %, namun dalam tahap ini membutuhkan methanol yang cukup banyak dan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu penelitian ini memberikan solusi lain yaitu dengan menggunakan adsorben zeolit, diharapkan bilangan asam dapat ditekan hingga dibawah 0,5%, sehingga tidak perlu lagi melakukan proses esterifikasi.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di mana bahan baku yang digunakan berupa sampel minyak goreng bekas dari rumah tangga. Sebelum diubah menjadi biodiesel, sampel minyak goreng bekas dimurnikan dulu dengan

adsorben zeolit sebanyak 1,5 % berat minyak goreng bekas pada temperatur yang bervariasi yaitu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C. Hasil terbaik dari proses pemurnian minyak jelantah ini akan diubah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis Kalium Hidroksida (KOH) sebanyak 0.87% berat minyak jelantah, perbandingan minyak jelantah dan metanol sebesar 1:6 mol dengan temperatur 65°C selama 8 jam. Analisa yang dilakukan adalah uji karakteristik antara lain *viscositas, densitas, flash point*.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Dimana alat-alat yang digunakan *shaker bath*, penangas air, cawan petri, pengaduk, neraca analitik, corong, kertas saring, oven, desikator, labu leher tiga, corong pemisah, kain saring, *beaker glass*, gelas ukur, pipet tetes, erlenmeyer, pH meter, *thermometer*, stop watch, biuret, stirrer, statip.

Adapun bahan yang dibutuhkan adalah minyak goreng bekas, zeolit alam, larutan H₂SO₄ 0,2N, larutan NaOH, *aquades*, H₂O₂, air, alkohol netral 95%, KOH 0,1N, indikator Phenolphthalein 1% dalam alkohol, metanol 99.5%, campuran pelarut (60% asam asetat glasial, dan 40% kloroform), larutan KI jenuh, dan larutan natrium tiosulfat 0,01N.

Hal pertama yang dilakukan adalah pengaktifan adsorben zeolit. Aktivasi kimia fisika merupakan gabungan antara aktivasi kimia yang kemudian diikuti dengan aktivasi fisika. Dengan aktivasi ini, selain untuk menghilangkan logam alkali dan pengotor-pengotor lainnya, namun juga untuk menguapkan sebagian air yang terdapat dalam

zeolit sehingga adsorbat akan lebih banyak berinteraksi dengan zeolit. Cara pengaktifan zeolit alam secara kimia fisika adalah zeolit sebanyak 10g di masukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 70 mL H₂SO₄ 0,2N lalu di aduk dalam *shaker* selama 45 menit pada suhu kamar, disaring dan dicuci dengan *aquades* beberapa kali sampai pH 7. Pengaktifan dilanjutkan dengan cara memanaskan zeolit dalam oven pada temperatur 225°C selama 120menit untuk memperbesar volume rongga. Kemudian zeolitdidinginkan pada desikator untuk menghindari kontak dengan udara sekitar (Murti, 2007).

Pemurnian dilakukan dengan tiga tahap yaitu *despicing*, netralisasi dan *bleaching* (adsorpsi). Mekanisme *despicing* yaitu Menyiapkan dan menimbang 350 mL minyak goreng bekas yang akan dimurnikan lalu campur minyak goreng bekas dan air dengan perbandingan komposisi volume minyak : air = 1 : 1. Kemudian campuran dimasukkan ke dalam *beaker glass* lalu campuran dipanaskan pada 90°C sampai volumeberkurang setengahnya. Minyak didiamkan sehingga kotoran mengendap lalu dipisahkan. Minyak yang telah dipisahkan dari kotorannya kemudian dinetralisasi dengan larutan NaOH.

Mekanisme netralisasi yaitu Pembuatan larutan NaOH 16% dengan cara melarutkan 16gr NaOH dengan *aquades* hingga volume 100mL. Lalu dilakukan pemanasan minyak goreng *despicing* pada suhu ± 40°C dan pemanasan larutan NaOH sampai suhu ± 35°C. Larutan NaOH 16% dimasukkan dengan komposisi minyak : NaOH = 125mL : 4mL. Lalu campuran diaduk selama 10 menit pada suhu ± 40°C, kemudian didinginkan selama 10 menit. Untuk memisahkan kotoran, minyak disaring dengan menggunakan kain saring. Minyak yang telah dinetralisasi kemudian di *bleaching* dengan menggunakan adsorben (zeolit aktif).

Mekanisme *bleaching* (adsorpsi) yaitu Minyak goreng hasil netralisasi dipanaskan dengan temperatur yang bervariasi, yaitu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C. Adsorben (zeolit aktif) dimasukkan dengan jumlah adsorben yang ditambahkan ke dalam minyak goreng bekas sebesar 1.5% berat minyak goreng bekas. Campuran diaduk, kemudian diambil sampelnya untuk disaring dengan kain saring tiap 30 menit untuk kemudian di analisa kadar asam, bilangan peroksida dan kadar air.

Analisa dihentikan hingga diperoleh kondisi keseimbangan (penurunan kadar asam sudah konstan) yang berarti kondisi adsorpsi terbaik telah tercapai.

Setelah itu dilakukan analisa kadar asam lemak bebas dan analisa kadar air. Mekanisme analisa kadar asam lemak bebas yaitu Prosedur analisis yang dilakukan yaitu: minyak goreng hasil pemurnian yang akan diuji sebanyak 25 mL di dalam erlenmeyer 200ml, ditambahkan 50 ml alkohol

netral 95% kemudian dipanaskan selama 10 menit dalam penangas air sambil diaduk.

Larutan ini kemudian dititar dengan KOH 0,1N dengan indikator larutan Phenolphthalein 1% di dalam alkohol sampai tepat terlihatwarna merah jambu. Setelah itu dihitung kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak dengan rumus berikut (Ketaren, 1996):

$$\text{Kadar asam (acid number)} = \frac{MxAxN}{10G} \%$$

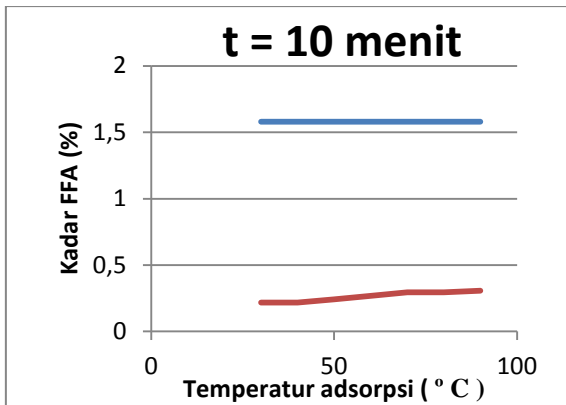
Mekanisme kadar air yaitu Proses Transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel dapat dilakukan bila kadar air rendah. Sehingga kadar air dalam minyak jelantah harus dihilangkan sebanyak mungkin. Penurunan kadar air dapat dihitung dengan *metode Gravimetri* dengan sampel minyak sebanyak 6.25mL. Pengukuran ini dilakukan pada setiap variasi temperatur adsorpsi.

Mekanisme proses transesterifikasi yaitu Membuat larutan metoksida dalam labu ukur dengan cara mencampurkan metanol (dengan perbandingan molar minyak goreng bekas terhadap methanol sebesar 1:6) dengan katalis KOH 0.87% berat minyak goreng. Menambahkan larutan metoksida kedalam campuran, kemudian dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 8 jam serta menjaga kondisi tetap pada suhu operasi 65°C. Hasil reaksi dituang dalam corong pemisah dan didiamkan hingga membentuk 2 lapisan, lapisan bawah adalah gliserol yang merupakan produk samping, sedangkan lapisan atas adalah *crude* metil ester asam lemak (FAME).

Kemudian dilakukan pemisahan menggunakan corong pemisah lalu dilakukan pencucian menggunakan air hangat bersuhu 90°C Dan yang terakhir adalah dilakukan uji karakteristik seperti uji *viskositas*, uji *densitas* dan *flash point*.

Hasil dan Pembahasan

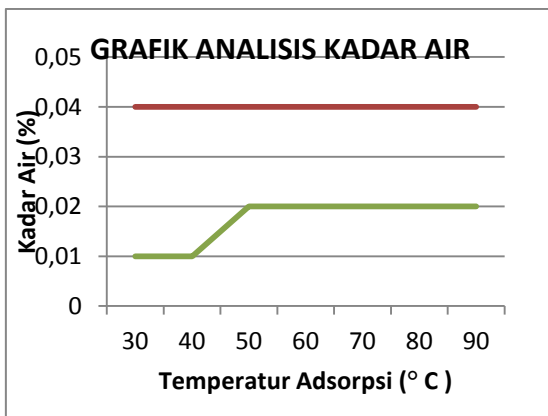
Kadar asam lemak bebas (FFA) sebelum dilakukan pemurnian sebesar 5.45% dan setelah dilakukan *despicing* dan netralisasi terjadi penurunan menjadi 1.58%. adsorben yang digunakan pada proses *bleaching* adalah zeolit sebanyak 1.5% berat minyak goreng bekas. Berikut ini hasil analisa kadar asam lemak bebas dengan varian temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C



Gambar 1. Analisa kadar FFA minyak goreng bekas (waktu optimum) pada varian suhu 30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90 °C.

Analisa kadar air minyak goreng bekas sebelum mengalami pemurnian sebesar 0.12% dan setelah dilakukan despicing dan netralisasi mengalami penurunan menjadi 0.04%. Analisa kadar air ini dilakukan secara manual dengan system gravimetric.

Berikut ini grafik analisa kadar air dengan variasi temperatur 30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90°C.



Gambar 2. Analisa kadar air minyak goreng bekas dengan varian suhu 30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90 °C. Minyak goreng bekas (MGB) yang mempunyai kadar FFA awal sebesar 5.45% mengalami penurunan setelah dilakukan pemurnian dengan proses *despicing* dan netralisasi menjadi 1.58%. kemudian dilakukan proses bleaching dengan media adsorpsi dan yang berlaku sebagai adsorben adalah zeolit sebanyak 1.5% berat minyak goreng bekas (MGB).

Dilihat dari hasil analisa penurunan kadar FFA setiap varian temperature dapat dikatakan bahwa penyerapan terbaik adsorben terhadap FFA dalam minyak terjadi pada menit ke-10 proses adsorpsi yaitu pada saat homogenisasi antara minyak goreng bekas dan adsorben. Hal itu dikarenakan laju penyerapan dari adsorben masih sangat besar dan juga dikarenakan adanya perbedaan konsentrasi FFA pada adsorbat dan permukaan adsorben.

Faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi salah satunya adalah temperatur. Pada saat proses aktivasi, temperatur tinggi sangat baik digunakan agar dapat membuka pori-pori adsorben sehingga daya serapnya tinggi dan luas permukaan yang besar. Pada saat proses adsorpsi, penggunaan temperatur tinggi tidak di anjurkan dikarenakan proses adsorpsi bersifat eksotermis sehingga dengan penggunaan temperatur tinggi akan mengurangi senyawa yang teradsorpsi.

Penurunan kadar FFA terbesar terjadi pada temperature 30 - 40°C. Pada temperature 90°C penurunan kadar FFA tidak terlalu besar. Sehingga dapat dikatakan bahwa penurunan kadar FFA baik dilakukan pada temperature rendah.

Pada temperature 30°C, waktu yang dibutuhkan adsorben untuk menyerap FFA sampai keadaan konstan selama 60 menit dan pada temperature 40 - 50°C selama 90 menit. Temperature 60 - 70°C selama 120 menit, temperature 80°C selama 150 menit dan temperature 90°C selama 180 menit. Dapat disimpulkan bahwa semakin rendahnya temperature adsorpsi maka semakin singkat waktu adsorpsinya. Hal tersebut dikarenakan kereaktifan molekul adsorbat pada temperature tinggi sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk diserap.

Kadar air minyak goreng bekas (MGB) sebelum dilakukan pemurnian adalah 0.12%. Setelah dilakukan despicing dan netralisasi mengalami penurunan menjadi 0.04%. Pada temperature 30, 40, dan 50°C penurunan kadar air mencapai 0% dan pada temperature 60, 70, 80, 90°C penurunan kadar air mencapai 0.01%. Dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar air lebih besar pada temperature adsorpsi rendah dibandingkan pada temperature adsorpsi tinggi.

Minyak goreng bekas (MGB) hasil pemurnian yang akan dikonversi menjadi biodiesel merupakan hasil optimum proses. Dua hasil optimum tersebut adalah pada temperature adsorpsi 30 dan 40°C dimana didapatkan penurunan kadar FFA terbesar dan waktu yang singkat. Setelah dilakukan proses transesterifikasi, biodiesel tersebut akan dilakukan analisa viskositas, *flash point* dan densitas.

Nilai viskositas biodiesel dengan MGB temperature adsorpsi 30 dan 40°C (4.884 dan 4.838 cst) dapat dikatakan hampir sama karena tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan. Hasil analisa viskositas tersebut memenuhi syarat biodiesel karena batasan nilai untuk biodiesel antara 1.9 – 6.5 cst. Begitu pula dengan hasil analisa *flash point* dan densitas. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecilnya perbedaan temperature adsorpsi tidak berpengaruh pada sifat-sifat biodiesel itu sendiri.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, kesimpulan yang di dapat adalah: Penurunan kadar FFA terbesar terjadi pada

temperatur adsorpsi rendah. Lalu semakin rendahnya temperatur adsorpsi maka semakin singkat waktu adsorpsinya begitu juga sebaliknya. Pemurnian minyak goreng bekas seperti *Despicing*, *Netralisasi* dan *Bleaching* mampu menjadikan minyak goreng bekas menjadi bahan baku pembuatan Biosiesel dikarenakan ada penghematan waktu dan penggunaan bahan-bahan kimia pada proses esterifikasi yang digantikan oleh proses *Bleaching* (adsorpsi).

Daftar Pustaka

- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Murtiyati. 2004. "*Penggunaan Adsorben Zeolit Alam Teraktivasi Dan Bentonit Bekas Hasil Regenerasi Pada Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas*". Universitas Lampung: Bandar Lampung

Pemanfaatan Bentonit Alam Teraktivasi pada *Pretreatment* Minyak Goreng Bekas sebagai Bahan Baku Biodiesel

Dian Wulan Sari

Jurusan Teknik Kimia - Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145

Telp. 085769438711, E-mail: dian_wulansuri@yahoo.com

Simparmin Br Ginting

Jurusan Teknik Kimia - Universitas Lampung, Bandar Lampung

ABSTRACT

Production of Biodiesel from used cooking oil is usually carried out in three stages of the process, namely the purification of used cooking oil, esterification, and transesterification. However, esterification requires a lot of methanol, making it less economical. Esterification can be replaced by the adsorption. Adsorption was carried out to eliminate FFA content of used cooking oil by using activated natural bentonite adsorbent. This study consists of two main stages, namely purification and conversion. Purification consist of despicng, neutralization, and bleaching (adsorption). In this study, adsorption was carried out at the temperature variation of 30,40,50,60,70,80,90 °C to observe FFA and water content. The treated used cooking oil with lowest FFA content was then converted into biodiesel. The obtained biodiesel was analyzed its flash point, viscosity, and density. The best adsorption results occurred at adsorption temperature of 30 and 50°C with the reduction of FFA by 0.2176% and 0.192%, while it was 0.05% for the water content. As for the flash point, viscosity, and density of the obtained biodiesel is already meet the standards of biodiesel, which is 170 °C, 5.021 mm²/s, and 0.8702 kg/lit (adsorption temperature of 30 °C) and 170°C, 5,119 mm²/s, and 0,8711 kg/lit (temperatur adsorpsi 50°C).

Keywords : Biodiesel, Bentonite, used Cooking Oil, Adsorption

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini dititik beratkan pada proses pemurnian minyak goreng bekas untuk pembuatan biodiesel dengan menggunakan bentonit yang dilakukan oleh Murtiyati (2008). Tahap pertama dalam pembuatan biodiesel adalah pemurnian minyak goreng bekas. Pemurnian itu sendiri dimaksudkan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan impuritis lainnya dalam minyak goreng bekas sebanyak mungkin. Metode pemurnian yang dilakukan pada penelitian ini terbagi dalam tiga tahap yaitu penghilangan bau (*despicng*), netralisasi dan pemucatan (*bleaching*) menggunakan adsorben bentonit. Bentonit yang digunakan adalah bentonit alam yang di aktivasi terlebih dahulu dengan cara aktivasi yang dilakukan

Murtiyati (2008). Dalam penelitian Tahar dan Soerawidjaja (2003), dikatakan bahwa proses esterifikasi dan transesterifikasi tidak memungkinkan untuk pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas dikarenakan asam lemak bebas dan kandungan air yang besar. Oleh karena itu, penggunaan adsorben bentonit yang bersifat hidrofilik dalam tahap pemurnian diharapkan dapat menurunkan bilangan asam lemak bebas dan kandungan air dalam minyak goreng bekas sebanyak mungkin. Sehingga proses transesterifikasi dapat dilakukan. Salah satu faktor yang berpengaruh pada proses adsorpsi adalah temperatur, sehingga pada tahap pemurnian dilakukan variasi temperatur adsorpsi. Dalam penelitian Alinda dan Wenti (2009) didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur adsorpsi maka semakin menurun bilangan asamnya, ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur

semakin tinggi pula daya adsorpsi. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa penurunan bilangan asam tertinggi yaitu sebesar 1,24 % pada 95°C dengan menggunakan adsorben arang aktif. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ramadhania (2008) dikatakan sebaliknya yaitu semakin tinggi temperatur adsorpsi maka semakin menurun daya adsorpsinya. Setelah didapatkan minyak jelantah dengan kadar FFA dan kadar air terendah, kemudian dilakukan proses konversi minyak goreng bekas menjadi biodiesel yaitu melalui proses transesterifikasi yang dilakukan dalam penelitian Sufriadi B. (2009) tanpa melalui tahap esterifikasi. Tahap esterifikasi dilakukan agar bilangan asam menurun hingga dibawah 0,5 %, namun dalam tahap ini membutuhkan methanol yang cukup banyak. Sehingga biaya proses konversi minyak jelantah menjadi biodiesel mahal dan membutuhkan waktu reaksi yang cukup lama serta membutuhkan tahapan proses yang lebih panjang karena minyak harus dipisahkan terlebih dahulu dari hasil reaksi sebelum dilakukan transesterifikasi. Oleh karena itu penelitian ini memberikan solusi lain yaitu dengan menggunakan adsorben bentonit, diharapkan bilangan asam dapat ditekan hingga dibawah 0,5%, sehingga tidak perlu lagi melakukan proses esterifikasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

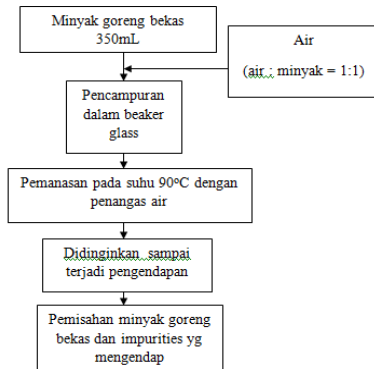
Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut: *shakerbath*, penangas air, cawan petri, pengaduk, neraca analitik, corong, kertas saring, oven, desikator, corong pemisah, *beaker glass*, gelas

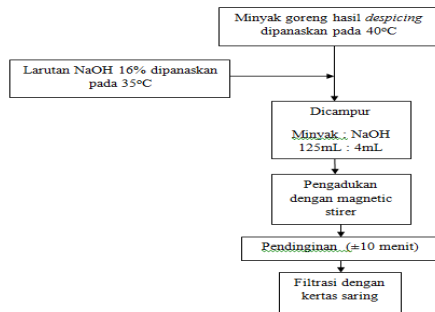
ukur, pipet tetes, erlenmeyer, pH meter, stopwatch, biuret, *magnetic stirrer*, corong pisah, statip. Adapun bahan yang dibutuhkan adalah minyak goreng bekas, bentonit alam, larutan H_2SO_4 0,2N, larutan NaOH, *aquadess*, H_2O_2 , air, alkohol netral 95%, KOH 0,1N, indikator Phenolphthalein 1% dalam alkohol, metanol 99.5%, campuran pelarut (60% asam asetat glasial, dan 40% kloroform), larutan KI jenuh, dan larutan natrium tiosulfat 0,01N.

Prosedur Kerja

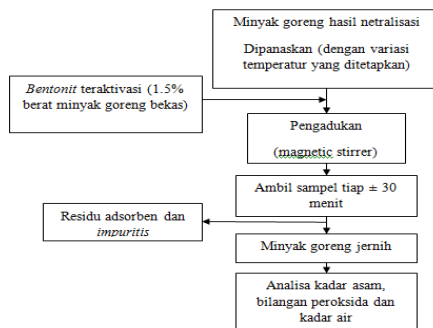
1. Proses *Despicing* Minyak Goreng Bekas



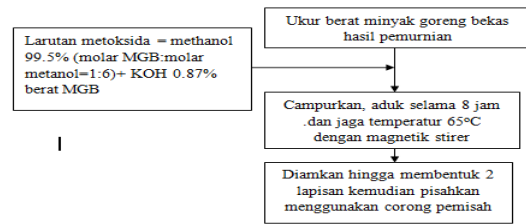
2. Proses Netralisasi



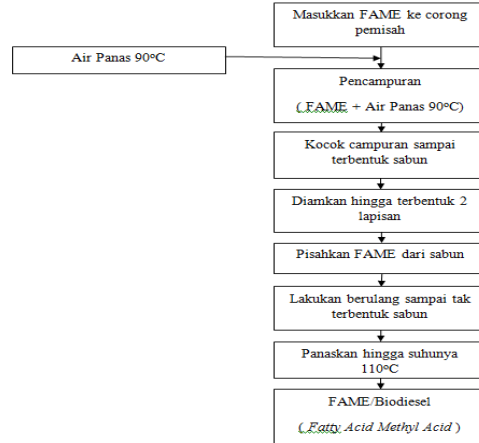
3. Proses Adsorpsi (Bleaching)



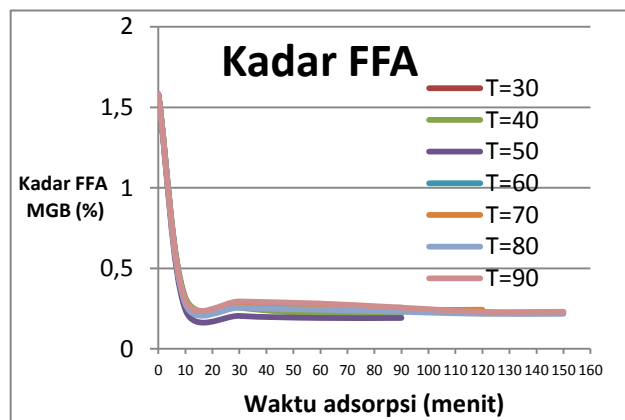
4. Proses Transesterifikasi



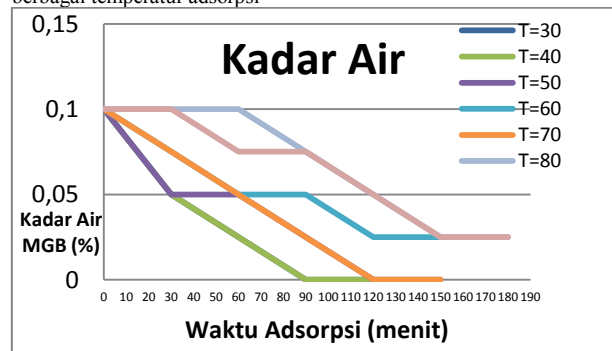
5. Tahap Pencucian



3. HASIL



1.5% berat minyak dengan kadar FFA awal sebesar 1,58% pada berbagai temperatur adsorpsi



Gambar 3.2 Grafik analisa kadar air minyak goreng bekas pada proses bleaching menggunakan adsorben bentonit alam sebanyak

1.5% berat minyak dengan kadar air awal sebesar 0,1% pada berbagai temperatur adsorpsi.

Tabel 3.1 Hasil analisa Viskositas, Flash Point, dan Densitas Biodiesel dengan bahan baku minyak goreng bekas yang sudah dilakukan *treatment*

| No. | Temperatur Adsorpsi MGB (°C) | Viskositas (mm ² /s) | Flash Point (°C) | Densitas (kg/L) |
|-----|------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| 1. | 30 | 5.021 | 170 | 0.870155 |
| 2. | 50 | 5.119 | 170 | 0.871124 |

4. PEMBAHASAN

Dari gambar 3.1 terlihat bahwa penurunan kadar FFA yang paling baik untuk semua variasi temperatur adsorpsi adalah pada 10 menit pertama proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas adsorben paling baik berlangsung pada 10 menit pertama untuk semua variasi temperatur. Hal ini terjadi karena pada 10 menit pertama *driving force* penyerapan FFA oleh adsorben bentonit masih sangat besar. Dikarenakan perbedaan konsentrasi FFA antara permukaan adsorben dengan minyak goreng bekas sangat besar. Sehingga penyerapan FFA oleh adsorben bentonit terjadi sangat cepat. Setelah 10 menit terlewat, penurunan kadar FFA sudah tidak signifikan lagi sampai kadar FFA konstan yang artinya adsorben bentonit sudah tidak mampu lagi menyerap FFA dari minyak goreng bekas. Hal ini terjadi karena adsorben bentonit sudah berada pada kondisi jenuh. Dengan semakin banyaknya molekul-molekul FFA yang diserap oleh adsorben bentonit, maka *driving force*nya semakin kecil hingga akhirnya tidak ada lagi perbedaan konsentrasi FFA antara adsorben bentonit dengan minyak goreng bekas, yang artinya proses adsorpsi selesai.

Dilihat dari gambar 3.1, penurunan kadar FFA minyak goreng bekas terbesar adalah pada temperatur adsorpsi 30- 50°C, kemudian pada temperatur adsorpsi 60°C penurunan kadar FFA minyak goreng bekas berkurang dan konstan pada temperatur adsorpsi 70°C. Pada temperatur adsorpsi 80°C penurunan kadar FFA meningkat dan berkurang sedikit pada temperatur adsorpsi 90°C. Dapat dikatakan bahwa penurunan kadar FFA sangat baik pada temperatur adsorpsi rendah

Dari gambar 3.1 terlihat bahwa pada temperatur adsorpsi rendah (30- 50°C) waktu yang dibutuhkan untuk melakukan adsorpsi sampai kadar FFA minyak goreng bekas konstan hanya 60 menit. Pada temperatur adsorpsi 60 dan 70°C waktu adsorpsi yang dibutuhkan adalah 90 menit, sedangkan pada temperatur adsorpsi 80 dan 90°C waktu adsorpsi yang dibutuhkan adalah 120 menit. Dapat dikatakan bahwa semakin rendah temperatur adsorpsi maka waktu yang dibutuhkan untuk menyerap kandungan FFA dari minyak goreng bekas semakin singkat. Namun, sebagian besar FFA dihilangkan pada 10 menit pertama proses adsorpsi untuk semua variasi temperatur. Sehingga dapat dikatakan bahwa besarnya temperatur adsorpsi lebih mempengaruhi lamanya waktu adsorpsi hingga kadar FFA minyak goreng bekas konstan.

Dari gambar 3.2 terlihat bahwa pada temperatur adsorpsi 30, 40, 50, dan 70°C kadar air turun hingga mencapai 0% dan pada temperatur adsorpsi 60, 80, dan 90°C kadar air turun hingga 0,025%. Dapat dikatakan bahwa pada temperatur adsorpsi rendah penyerapan kandungan air lebih baik dibandingkan pada temperatur adsorpsi tinggi.

Dari gambar 3.2 terlihat hubungan antara temperatur adsorpsi dengan waktu adsorpsi adalah berbanding lurus. Maksudnya adalah semakin tinggi temperatur adsorpsi maka waktu yang dibutuhkan untuk menyerap kandungan air dalam minyak goreng bekas semakin lama.

Adsorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara *reversible*. Adsorpsi merupakan proses eksotermis dimana adsorben dan adsorbat melepaskan panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorbat yang menyebabkan adsorbat tersebut menempel pada permukaan adsorben dan membentuk suatu lapisan tipis. Ketika panas diberikan pada sistem tersebut maka pergerakan molekul adsorbat akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghasilkan energi kinetik molekul adsorbat yang cukup untuk merusak gaya *Van Der Waals* antara adsorben dan adsorbat. Proses pelepasan adsorbat dari adsorben merupakan proses endotermis (Boby, 2008).

Dalam penelitian ini, temperatur rendah adalah kondisi yang terbaik untuk proses adsorpsi FFA dan kandungan air oleh adsorben bentonit. Hal ini terjadi karena adsorpsi bersifat eksotermis. Dengan lepasnya panas, maka terjadi penurunan pergerakan molekul FFA dan molekul air sehingga molekul-molekul FFA dan air dapat menempel pada permukaan adsorben bentonit secara stabil. Sedangkan dengan naiknya temperatur adsorpsi, pergerakan molekul-molekul FFA dan air mengalami peningkatan dan menghasilkan energi kinetik sehingga gaya *Van Der Waals* antara molekul-molekul FFA dan molekul-molekul air dengan permukaan adsorben bentonit menjadi rusak. Hal ini menyebabkan terjadinya desorpsi molekul-molekul FFA dan air dari permukaan adsorben bentonit. Sehingga dengan meningkatnya temperatur adsorpsi meningkat pula proses desorpsi molekul-molekul FFA dan air dari permukaan adsorben bentonit. Hal ini juga menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk menyerap kandungan FFA dan air dalam minyak goreng bekas semakin lama. Minyak goreng bekas (MGB) yang digunakan sebagai bahan baku biodiesel adalah MGB dengan kadar FFA terendah dan terbaik.

Dari hasil analisa kadar FFA didapatkan nilai terendah pada temperatur adsorpsi 50°C dan nilai terbaik pada temperatur adsorpsi 30°C. Meskipun pada temperatur adsorpsi 40°C dan 80°C didapatkan kadar FFA terendah kedua, namun untuk mencapai temperatur adsorpsi tersebut dibutuhkan pemanasan, sedangkan untuk mencapai temperatur adsorpsi

30°C tidak dibutuhkan pemanasan sehingga energi yang dibutuhkan lebih kecil. Inilah alasan mengapa dipilih temperatur 30°C, dengan waktu adsorpsi yang sangat singkat dan kebutuhan energi yang rendah, kadar FFA sudah sangat rendah.

Setelah minyak goreng bekas ditransesterifikasi kemudian dilakukan analisa viskositas, flash point, dan densitas. Didapatkan viskositas biodiesel dari MGB dengan temperatur adsorpsi 50°C sebesar 5.021 mm²/s dan pada temperatur adsorpsi 30°C sebesar 5.119 mm²/s. Perbedaannya sangat kecil, sehingga dapat dikatakan hampir sama nilai viskositasnya. Batasan nilai viskositas untuk biodiesel adalah antara 2 sampai 7 mm²/s sehingga dilihat dari nilai viskositasnya, hasil transesterifikasi minyak goreng bekas ini memenuhi syarat sebagai biodiesel. Flash point yang didapatkan adalah sama untuk kedua bahan baku transesterifikasi. Begitu juga dengan densitas, walaupun tidak sama persis tapi perbedaan bisa diabaikan dan dianggap sama. Hal ini menunjukkan perbedaan temperatur adsorpsi yang dekat tidak akan memberikan efek yang terlalu signifikan pada sifat-sifat biodiesel yang didapatkan. Dilihat dari nilai flash point, hasil transesterifikasi minyak goreng bekas ini memenuhi standar flash point biodiesel. Begitu juga dengan densitas yang didapatkan memenuhi standar densitas biodiesel.

5. KESIMPULAN

1. Penurunan kadar FFA sangat baik pada temperatur adsorpsi rendah.

2. Semakin tinggi temperatur adsorpsi, maka waktu adsorpsi semakin lama.
3. Penyerapan maksimum FFA dan air dalam minyak goreng bekas terjadi pada 10 menit pertama adsorpsi.
4. Proses adsorpsi mampu menurunkan kadar FFA minyak goreng bekas sampai nilai batas FFA pada proses transesterifikasi, yaitu dibawah 0,5%.
5. Biodiesel yang dihasilkan memiliki nilai viskositas, densitas, dan *flash point* sesuai standar biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Murtiyati. 2004. "*Penggunaan Adsorben Zeolit Alam Teraktivasi Dan Bentonit Bekas Hasil Regenerasi Pada Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas*". Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Tahar, A dan Soerawidjaja, T.H. 2003. "*Evaluasi Teknis Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah*". Semarang: Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia, ISSN 1441-4216, UNDIP.
- F.R., Alinda dan A.W., Wenti. 2009. "*Peningkatan Kualitas Minyak Goreng Bekas Dari KFC Dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif*". Makalah Seminar Tugas Akhir: UNDIP.
- Ramadhania. 2008. "*Adsorpsi Minyak Goreng Bekas Menggunakan Arang Aktif*". Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.

Decomposition Anaerobic of Mixed Waste Liquid Industry Using Reactor UASB Series

Vincentia Harlistriani^[1], Panca Nugrahini F.^[2]

Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lampung University
Jl Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Telp. (0721) 701609
e-mail : v.harlistriani@yahoo.com

ABSTRACT

This research have done to know about the phenomenon of processing tapioca liquid waste, sugar liquid waste and palm oil waste with the anaerobic biological processes using the upflow anaerobic reactor sludge blanket (UASB) in series. The processing using activated sludge anaerobic as a starter degrading microorganism of liquid waste and to know characteristics the process of renovation with a mixture of liquid industrial waste with HRT variation in the reactor. In this research studied the influence of residence time is faster on the optimum conditions at pH and nutrients naturally on the efficiency of sewage treatment mixture. Concentration of COD feed is set at 5000, 15000, 25000 and 30000 mg/L and HRT is set at 10, 8, 6 and 4 hours. COD reduction efficiency of a mixture of liquid waste produced quite well, until it reaches the range 77,27% – 92,4 %. Accumulated average biogas generated per experiment, reaching the range of 2,55 – 6,48 ml/day. The resulting pH effluent in the range of 5,0 – 6,8.

Keywords : Anaerobic, reactor UASB series, biogas, a mixture of liquid waste

PENDAHULUAN

Industri gula tebu, industri tepung tapioka dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000 mg COD/L, ± 30.000 mg COD/L dan 50.000 mg COD/L (Ahmad dkk, 2003). Secara kuantitas, proses produksi ketiga jenis industri tersebut menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yaitu: pengolahan 1 ton singkong menjadi tepung tapioka menghasilkan sekitar 4.000-6.000 liter limbah cair (Djarwati dkk, 1993), produksi 1 ton kelapa sawit mengeluarkan limbah cair sekitar 2.500-3.500 liter (Ahmad dkk, 2003) dan pengolahan 1 ton tebu per hari menghasilkan limbah cair sebesar 5000 liter (Mintati, 2002). Sistem pengolahan limbah cair *lagoon/pond* anaerobik terbuka yang diterapkan oleh ketiga industri tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, amoniak, hidrogen sulfida dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik (Kiely, 1997). Gas-gas tersebut kemudian terdispersi ke atmosfer/udara terbuka secara alami. Pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan kolam yang banyak dan besar sehingga memerlukan lahan yang luas. Selain gas metan, dispersi produk gas lain seperti CO_2 ke lingkungan terbuka berpotensi menimbulkan pemanasan global dan meningkatkan polusi. Gas metan yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair pabrik-pabrik tersebut dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar alternatif. Karena dapat menghasilkan biogas yang dapat diperbaharui dari sistem pengolahan anaerobik,

limbah cair dipandang sebagai salah satu bahan yang dapat menyediakan sumber energi terbarukan (Chaiprasert dkk, 2003).

Alternatif yang dapat dilaksanakan adalah dengan mengolah ketiga jenis limbah cair tersebut dalam suatu unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) khusus menggunakan teknologi proses sel terimobilisasi. Dengan cara tersebut, pihak industri hanya diwajibkan mengirim limbah ke kompleks IPAL khusus, sehingga pabrik tidak akan terbebani biaya dan pengoperasian IPAL. Keuntungan yang akan diperoleh pihak pabrik adalah pembiayaan proses produksi pabrik dapat berkurang, sehingga harga jual produk pabrik ke masyarakat dapat diturunkan. Salah satu unit instalasi pengolahan air limbah industri (IPAL) dengan menggunakan teknologi sel terimobilisasi yaitu bioreaktor UASB (*Upflow Anaerobik Sludge Blanket*). Penelitian tentang pengolahan limbah cair campuran dari tiga jenis industri tersebut dengan menggunakan teknologi proses anaerobik UASB telah dilakukan dan berjalan dengan baik (Widyantoro, dkk.2007). Pada riset tersebut, telah berhasil dieksplorasi kondisi operasi untuk pengolahan limbah cair gabungan. Reduksi COD limbah cair berada pada rentang yang baik, yaitu sekitar 63,20%-82,90% (rata-rata) dengan laju beban organik sebesar 10-90 kg COD/m³/hari, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang baik. Dalam riset tersebut juga didapatkan bahwa pada kondisi pH-nutrisi alami

dengan nilai pH 5,01-6,94 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal.

Proses biodegradasi limbah cair campuran dengan menggunakan reaktor UASB telah dilakukan dan bekerja dengan baik, namun konsentrasi COD *effluent* yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor UASB single belum dapat memenuhi standar bahan baku mutu yang dianjurkan pemerintah. Maka berdasarkan uraian tersebut, pengkajian lebih lanjut pengembangan sistem IPAL dengan teknologi sel terimobilisasi UASB disusun secara seri.

METODE PENELITIAN

2.1 Analisis Awal Kondisi Limbah Cair

Masing-masing limbah cair dan limbah cair campuran diukur nilai suhu, pH, COD, kandungan zat padat (TSS), dan tingkat kekeruhan (APHA, 1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat.

2.2 Karakterisasi Umpan

Stok limbah cair industri gula, limbah cair industri tapioka, dan limbah cair industri kelapa sawit yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur dengan perbandingan volume optimal yaitu 1: 1: 12 untuk umpan ke reaktor UASB sehingga diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 20.000 mg/L yang kemudian dapat diencerkan sesuai umpan yang diinginkan ke reaktor UASB (Widyantoro dkk, 2008) dengan pH dan nutrisi alami (Metcalf dan Eddy, 1991).

2.3 Lumpur Anaerobik Starter (Inokulum)

Lumpur berasal dari unit IPAL PPKS yang menggunakan proses anaerobik lagoon. Lumpur diambil dari bagian dasar dengan alat khusus sekitar 2 liter dan kemudian disimpan dalam jeriken yang ditutup rapat. Inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan. Analisis fisik dan kimia kondisi mikroba starter difokuskan pada suhu asal dan suhu sebelum dilakukan *start-up*, observasi visual, pH.

2.4 Reaktor *Start-Up*

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal sekitar 5.000 mg/L dengan pH alami dialirkan secara batch recycle beberapa hari sampai kondisi stabil yakni reduksi COD mencapai 80%. Selama proses *start-up* tersebut, observasi difokuskan pada reduksi konsentrasi COD. pH influen diamati setiap hari, jika pH umpan kurang dari 5 maka dialirkan umpan baru kedalam reaktor UASB.

2.5 Eksperimen

Setelah reduksi 80% COD, reaktor siap untuk dioperasikan pada kondisi yang divariasikan. Umpan dipersiapkan pada konsentrasi COD 5000, 15.000, 25.000, 30.000 mg/l. Konsentrasi COD influen dinaikkan secara bertahap dari 5.000 hingga konsentrasi maksimum 30.000 mg/l sambil diperiksa konversi COD. Variasi lain yang ditinjau adalah waktu limbah cair didalam reaktor (HRT) yaitu 4, 6, 8, dan 10 jam.

2.6 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan *full factorial*. Kondisi yang dianggap sebagai kelompok adalah kelompok waktu pengamatan. Lama waktu pengamatan untuk setiap kondisi perlakuan adalah 8 hari, dan proses berlangsung secara berkesinambungan (*continue*), tanpa dilakukan replikasi (pengulangan). Kondisi perlakuan terdiri atas kondisi perlakuan dengan 6 faktor pengamatan, yaitu COD *influent* dan *effluent*, TSS *influent* dan *effluent*, pH *influent* dan *effluent*, Kekeruhan *influent* dan *effluent*, Suhu, dan produksi gas. Formulasi rancangan percobaan diuraikan dalam Tabel 1.

Parameter Percobaan :

Hydraulic Retention(HRT)= 10 jam, 8 jam, 6 jam, 4 jam

Konsentrasi COD influen (mg/l) = 5000, 15.000, 25.000, 30.000

Kandungan nutrisi = Nutrisi alami

pH umpan = pH alami

Tabel 1. Rancangan Percobaan

| Run | COD (mg/l) | HRT (jam) |
|-------|------------|-----------|
| Start | 5000 | 10 |
| 1 | 15000 | 10 |
| 2 | 25000 | 10 |
| 3 | 30000 | 10 |
| 4 | 5000 | 8 |
| 5 | 15000 | 8 |
| 6 | 25000 | 8 |
| 7 | 30000 | 8 |
| 8 | 5000 | 6 |
| 9 | 15000 | 6 |
| 10 | 25000 | 6 |
| 11 | 30000 | 6 |
| 12 | 5000 | 4 |
| 13 | 15000 | 4 |
| 14 | 25000 | 4 |
| 15 | 30000 | 4 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

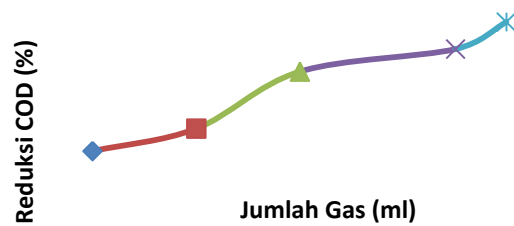
Nilai akhir dari setiap faktor yang diamati pada setiap kondisi dalam eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai akhir reduksi kandungan COD limbah cair berada pada rentang 77,08 %-92,40 %, pH akhir berada pada interval 5,0-6,9; kandungan TSS adalah sekitar

69-1.120 mg/L dan turbiditas pada nilai 109-1.543 FAU, serta produksi gas rata-rata yang dihasilkan 3,14-6,47 (ml/hari).

Jumlah gas yang terakumulasi selama penelitian sebagai hasil reduksi dapat diilustrasikan dalam gambar 3.2. berikut.

Tabel 2 Hasil nilai faktor pada setiap run (perlakuan)

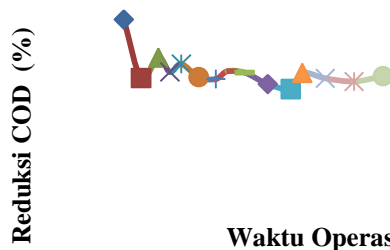
| Run | Nilai Akhir Tiap Pengamatan | | | | Nilai Rerata |
|-----|-----------------------------|------------|-----|-----|--------------|
| | Reduksi COD | Turbiditas | TSS | pH | |
| 1 | 92,40% | 586 | 441 | 6,7 | 3,14 |
| 2 | 89,68% | 507 | 423 | 6,2 | 4,71 |
| 3 | 90,63% | 497 | 352 | 6,4 | 5,49 |
| 4 | 89,96% | 203 | 151 | 5,8 | 3,33 |
| 5 | 90,33% | 660 | 451 | 6,6 | 4,90 |
| 6 | 89,72% | 516 | 420 | 6,3 | 4,91 |
| 7 | 89,63% | 498 | 351 | 6,4 | 6,08 |
| 8 | 90,00% | 205 | 150 | 6,3 | 5,29 |
| 9 | 89,93% | 447 | 328 | 6,6 | 5,69 |
| 10 | 89,40% | 382 | 380 | 5,9 | 5,69 |
| 11 | 89,16% | 187 | 140 | 6,3 | 4,90 |
| 12 | 89,92% | 207 | 152 | 6,5 | 4,71 |
| 13 | 89,67% | 327 | 244 | 6,8 | 5,69 |
| 14 | 89,52% | 248 | 260 | 6,1 | 6,08 |
| 15 | 89,76% | 109 | 69 | 6,8 | 6,47 |



Gambar 3.2. Hubungan reduksi COD terhadap pembentukan gas

3.1. Hubungan Reduksi COD terhadap HRT

Hubungan reduksi kandungan COD limbah cair pada akhir proses degradasi di bioreaktor UASB untuk tiap run secara lengkap dapat diilustrasikan dalam Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1. Hubungan waktu operasi dengan Reduksi COD

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai reduksi COD yang paling besar (>90%) berada pada run I pada rentang COD influent pada 15.000 mg/L dan HRT pada 10 jam. Hal ini disebabkan karena keadaan mikroorganisme masih fresh sehingga mampu mendegradasi limbah secara maksimal. Namun pada run selanjutnya reduksi COD effluent juga masih berkisar 77,26-90,63% yang menunjukkan proses degradasi limbah dalam reaktor masih bekerja dengan baik. Pada gambar 3.1. dapat dilihat semakin sedikit waktu tinggal limbah dalam reaktor kinerja reaktor UASB seri ini masih dapat menghasilkan reduksi COD yang baik. Namun waktu tinggal limbah sebesar 10 jam yang menghasilkan reduksi COD yang paling tinggi, sedangkan waktu tinggal limbah sebesar 4 jam masih juga mampu menghasilkan reduksi COD hingga 90%.

a. Hubungan Reduksi COD terhadap Akumulasi Gas

Gas yang terbentuk dalam penelitian merupakan hasil dari proses degradasi COD campuran limbah oleh mikroba dalam lumpur anaerobik didalam sistem UASB seri ini. Selama penelitian dilaksanakan, jumlah akumulasi gas yang didapatkan sangat fluktuatif. Dari gambar di atas dapat diamati bahwa jumlah gas yang terakumulasi tidak setabil untuk tiap run dan selalu berubah. Namun secara keseluruhan jumlah akumulasi gas yang dihasilkan masih sebanding dengan besarnya tingkat reduksi COD.

Reaksi penguraian karbohidrat menjadi metana adalah

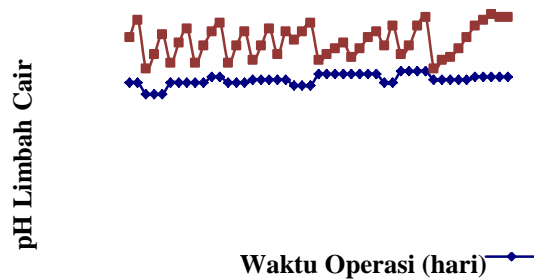
$$(C_6H_{10}O_6)_x + xH_2O \rightarrow 2CH_4 + 2CO_2 + O_2 + 2CH_2$$

Secara stoikiometri penguraian karbohidrat 1 mg/l menjadi gas metan menghasilkan 1 mg/l. Pada penelitian COD influent 5000 mg/l hanya menghasilkan 2,1587 mg/l gas metan. Secara stoikiometri penguraian 5000 mg/l karbohidrat akan menghasilkan 5000 mg/l gas metan, namun pada penelitian ini hanya menghasilkan 2,1587 mg/l gas metan. Sehingga jumlah akumulasi gas selama penelitian ini tidak menunjukkan jumlah total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi. Hal ini dikarenakan ketidakakuratan penampungan gas pada matering unit, dan kerja lumpur anaerobik yang kurang maksimal dalam pembentukan gas metan. Selain itu adanya pengaruh aliran gas yang ikut terbawa bersama *effluent* menuju ke tangki settler (kebocoran gas) juga masih terjadi seperti penelitian sebelumnya (Widyantoro dkk.2007).

3.3. Profil pH selama Penelitian

Dari gambar 3.3. dapat dilihat bahwa profil pH influent yang dibawa oleh campuran limbah cair mengalami perubahan setelah mengalami proses degradasi oleh mikroba. Dapat terlihat pula bahwa selama penelitian ini dari awal sampai akhir semua pH effluent lebih besar dari pada pH influent. Hasil dari proses degradasi terhadap campuran limbah cair industri yang memiliki pH influent dengan rata-rata pH berkisar 4,58 menghasilkan pH effluent yang mendekati pH netral dengan rentang pH 5,0-6,9. Hasil ini juga telah mendekati standar bahan baku

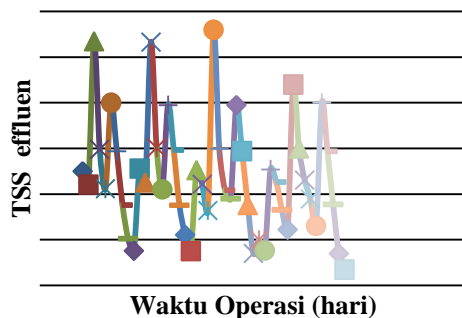
buangan limbah yang telah ditetapkan pemerintah yaitu pH sebesar 6-9.



Gambar 3.3. Profil Perubahan pH selama Penelitian

3.4. Profil Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair terhadap HRT dan Reduksi COD

Salah satu kandungan yang terdapat didalam limbah cair adalah kandungan Total Suspended Solid (TSS). Di dalam penelitian ini kandungan TSS yang terkandung pada limbah yang diumpankan kedalam bioreaktor UASB seri cukup besar yaitu sebesar 264-1900 mg/L. Dari hasil pengamatan ternyata besarnya kandungan TSS yang terkandung masih dapat didegradasi oleh mikroorganisme anaerobik sehingga mampu menghasilkan kandungan TSS effluen yang lebih rendah.

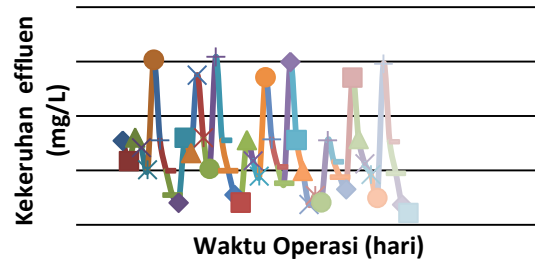


Gambar 3.4. Hubungan HRT terhadap TSS Effluent

Dari gambar dapat diamati nilai TSS yang rendah terdapat pada HRT yang terkecil yaitu nilai TSS 69 mg/l pada HRT 4 jam dengan kadar COD umpan sebesar 30000 mg/l pada run ke 15. Hal ini menunjukkan adanya kontak bakteri yang singkat masih mampu menurunkan kandungan TSS dengan baik. Untuk HRT yang sama dengan kadar COD yang berbeda, nilai TSS effluent semakin kecil. Tetapi nilai kandungan TSS effluen keseluruhan tiap run ini belum mendekati angka bahan baku mutu limbah cair yang dianjurkan pemerintah yaitu sebesar 250 mg/l meskipun ada beberapa run yang memenuhi bahan baku mutu limbah.

Demikian juga dengan tingkat kekeruhan effluent limbah cair, seperti diilustrasikan dalam gambar 3.5. berikut. Dalam penelitian ini terdapat turbidity yang rendah terdapat pada run XV yaitu nilai turbidity 109 mg/l pada HRT 4 jam dengan kadar COD umpan sebesar 30000 mg/l. Dilihat pula bahwa

untuk kadar COD umpan yang berbeda dengan HRT yang sama maka nilai turbidity semakin kecil. Hal ini menunjukkan waktu tinggal di dalam reaktor yang singkat juga masih mampu mereduksi nilai turbidity limbah. Proses ini dikarenakan adanya kontak mikroorganisme anaerobik dengan limbah cair sehingga proses degradasi limbah dapat terjadi dan mengakibatkan menurunnya kandungan turbidity dalam limbah effluennya.



Gambar 3.5. Hubungan HRT terhadap Turbidity Effluent

TSS yang terkandung dalam limbah influen limbah cair yang digunakan cukup besar, nilainya berada pada rentang 264-1900 mg/L. Ternyata keadaan ini masih dapat ditelorir oleh unggun mikroorganisme anaerobik, sehingga tingkat reduksi COD masih berada diatas 80% untuk setiap runnya. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi COD yang tinggi mengandung kandungan TSS yang rendah pula. Demikian pula dengan tingkat kekeruhan limbah effluent semakin kecil hampir mendekati angka bahan baku mutu. Hal ini dapat menunjukkan bahwa bioreaktor UASB seri masih dapat mengolah limbah cair campuran agroindustri.

KESIMPULAN

1. Jumlah gas yang terakumulasi berada pada rentang rata-rata 2,55-6,48 mL/hari, akumulasi gas ini juga tidak menunjukkan total gas yang dihasilkan, karena kendala penelitian seperti aliran gas yang ikut terbawa bersama effluen menuju ke tangki settler masih terjadi. Selain itu pengukuran gas ini juga dipengaruhi oleh keakuratan penggunaan pengukuran gas yang digunakan.
2. pH alami influen yang diumpankan cenderung bersifat asam dengan nilai rata-rata 4,60. Tetapi kondisi ini tidak mempengaruhi kinerja dari bioreaktor UASB seri sehingga pH effluent yang keluar dari reaktor ini mempunyai pH yang mendekati netral dengan rentang pH 5.0-6.8.
3. Tingkat reduksi COD yang paling baik didapatkan pada HRT 10 jam dengan angka sebesar 92,4%. Untuk HRT yang paling singkat yakni 4 jam ternyata tingkat reduksi COD masih kecil yaitu sebesar 77,27%. Dalam penelitian ini

- ternyata HRT yang singkat belum dapat menghasilkan tingkat reduksi COD yang tinggi.
4. Besarnya nilai konsentrasi COD, kandungan TSS, tingkat kekeruhan (turbidity) dalam limbah effluen dari bioreaktor UASB seri ternyata belum memenuhi nilai dari bahan baku mutu standar limbah yang ditetapkan oleh pemerintah. Nilai konsentrasi COD effluen dalam penelitian ini berada dalam rentang 504-6510 mg/l, nilai TSS effluen dengan rata-rata 475,72 mg/L, nilai Turbidity (kekeruhan) effluen dengan rata-rata 658,51 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, J. dan Santoso, B.I., 2006, *Proses degradasi limbah cair substrat ganda secara biologi anaerobik*, Laporan Penelitian Mandiri, Universitas Lampung
- Ahmad, AL., Ismail, S. dan Bhatia, S., 2003, *Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology*, Desalination, 157, p. 87-95
- Chaiprasert, P., Nophanata, A., Chayawattana, T., Wangnai, C., Rukruem, W., Kullavanijaya, P., Bhumiratana, S., dan Tanticharoen, M., 2003, *The biogas plants high rate anaerobic fixed film technology for agroindustrial wastewater*, KMUTT, Thailand
- Djarwati, Iffatul Fauzi, dan Sukani, 1993. *Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika*, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang
- Kiely, 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Metcalf dan Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York, Mc Graw Hill Inc.
- Mintati, S., 2002, *Penjernihan Effluent IPAL Industri Gula Tebu dengan Bioreaktor*, Bandar Lampung.
- Widyantoro, Ari., 2008, *Karakterisasi Perombakan Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB)*, Laporan Penelitian. Universitas Lampung, Bandar Lampung

Nonlinear Finite Element Analysis of Pressurized LPG Toroidal Tank with Non-Radial Nozzle

Asnawi Lubis¹, Zaki Oktazari, and Novri Tanti

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jalan Professor Soemantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, 35145, Indonesia
Telp: 0721-3555519, Fax: 0721-704947*

Abstract

This paper reports a nonlinear parametric finite element study of pressurized circular toroidal tank with non-radial cylindrical nozzle. Following to previous study by one of the authors who shows that radius ratio of 4 gives the highest limit pressure, the study was extended to determine the position of non-radial cylindrical nozzle that gives the highest limit pressure. Toroidal tank having the same volume as PERTAMINA LPG 3kg of 7.3 liter and radius ratio of 4 were used in this study. Cylindrical nozzle of 12.5 mm diameter and 10 mm height was attached perpendicular to plane of the toroid. The position of nozzle was made various along a major radius of the torus, from intrados to intrados. The position of nozzle was varied every 5 mm, from 115 mm to 210 mm. The maximum applied internal pressure was 1.5 times pressure to yield. Limits pressure were obtained via nonlinear finite element analysis using the well-known Newton-Raphson algorithm with large deformation. It was found that the best design for nozzle position, indicated by the highest limit pressure, is located between crown and extrados and close to extrados. This result conforms to the membrane theory that the highest stress occurs at the intrados and nozzle shall not be located next to that location.

Keywords: *pressurized toroidal tank, limit pressure, finite element analysis.*

Introduction

In order to reduce the consumption of kerosine in Indonesian household, the government of Indonesia initiate a program of kerosine to LPG conversion in 2007. The target of the program is to reduce the kerosine consumption by 9.9 million kilo liters in 2012. This was done by distributing into household LPG 3-kg storage tank and valve, free of charge, included its gas content and accessories.

In running the program, however, there were many accidents caused by burst type failure of the LPG tank. These accidents result in conversion program run unsmooth. There were many people then, refuse to follow the conversion program. One of the reason is concerning the safety factor of the tank. Image among the people is that the quality of

the tank is bad and the possibility of accident is very high.

The LPG storage tank used is cylindrical in form with semi elliptical head at both ends. If the conversion program of kerosine to LPG to be

continued beyond 2012, breakthrough is needed in addition to intensive education program to the people. Here, toroidal tank is proposed to substitute the current cylindrical shape used for LPG 3-kg.

The study of static and dynamic behaviour of toroidal shell had been carried out by many researchers. Free vibration analysis of two toroidal shell had been carried out by Tzou and Wang [1] to control the vibration of toroidal shell structure and to enhance its accuracy and reliability. Jiang and Redekop [2] carried out analysis of static and dynamic characteristics of orthotropic toroidal shells of variable thickness and obtained solution based on the shell equations of Sanders-Budiansky. Experimental limit external pressure tests had been carried out on three toroidal tanks by Btacht [3], two of the tanks were fabricated from mild steel by spinning two part of toroidal and welded at its intrados and extrados, while another one was fabricated by welding circumferentially four 90-degree elbows. Stress and strain analysis of LPG tanks had been carried out by Velickovic [4] using finite element method. Kisioglu [5] is one of few researchers who had carried out investigation on limit pressure of toroidal tank of LPG storage for vehicle in Turkey. To the best of authors knowledge, it was not found in literatures a comprehensive study of strength design of toroidal tanks for LPG 3-kg,

particularly for using in Indonesian household, apart from a finite element parametric study by Lubis [6] to find the radius ratio of toroidal tank that gives the highest limit pressure. Toroidal tanks used in his study were without nozzle, therefore only membrane effect was included. This paper reports results of nonlinear finite element parametric study of toroidal tanks with non-radial flush nozzle to find the highest limit pressure.

FINITE ELEMEN METHOD

The model of toroidal tank proposed here is based on the LPG 3kg of PERTAMINA used nowadays in Indonesian household with the following data:

- Operating temperature: -40 to 60°C
- Volume: 7.3 liter
- Operating pressure: 2.1 MPa
- Hydrostatic pressure: 3.2 MPa

The volume of a toroidal tank is calculated as follows:

$$V = \pi r^2 \cdot h = \pi r^2 \cdot 2\pi R = 2\pi^2 r^2 R \quad (1)$$

where, r is the radius of toroidal cross-section and R is major radius of toroidal.

If parameter $\rho = R/r$ is introduced, equation (1) can be written as follows:

$$V = 2\pi^2 r^3 \rho \quad (2)$$

Hence, the radius of cross-section for different value of radius ratio is calculated as follows

$$r = \left(\frac{V}{2\pi^2 \rho} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Lubis [6] has shown that toroidal tank having radius ratio of 4 gives the highest limit pressure. Therefore, cross-section radius of the tank was calculated as follows:

$$r = \left(\frac{7.3 \times 10^6}{8\pi^2} \right)^{1/3} = 45.2 \text{ mm}$$

The corresponding radius of curvature was 180.9 mm.

The locations of non-radial flush nozzle of 12.5 mm diameter and 10 mm height was studied parametrically to obtain the highest limit pressure. The nozzle was placed along the major radius of torus, varied from some distance to intrados to some distance to extrados. Table 1 below shows the location of the nozzle, measured from the center of the toroidal plane:

Table 1 Location of nozzle measured from center of toroidal plane:

| | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| d, mm | 155 | 160 | 165 | 170 | 175 | 180 |
| No. | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| d, mm | 185 | 190 | 195 | 200 | 205 | 210 |

2.1 Geometry Modelling

Geometry modeling was done in toroidal coordinate. Torus geometry was obtained by rotating a circle of radius r about an axis as shown in Fig. 1.

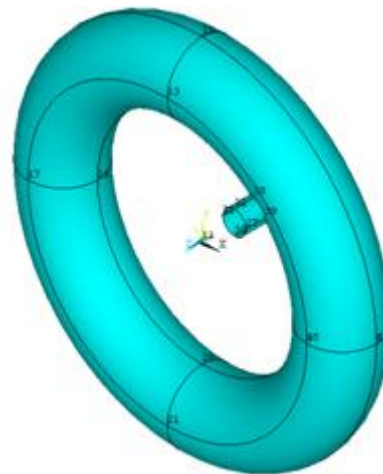


Fig.1 Geometry modeling at toroidal coordinate

2.2 Material properties

The current LPG 3 kg cylindrical shell is made from steel sheet (plate) of PT Krakatau Steel with specification JIS G3116 SG-295, and 2.3 mm thickness. Carbon steel with specification G3101 SS42, thickness of 2.5 mm is used for *handguard* and *footring* also from PT Krakatau Steel. While welding wire used for circumferential joint is supplied from Cina with specification EM 12 K [9].

The material properties needed for limit pressure finite element studies are Young's modulus, yield strength, and Poisson's ratio of 207 GPa, 295 MPa, and 0.3 respectively [9]. In this analysis it was assumed that the toroidal tank is fabricated by welding four 90° elbows circumferentially. It was also assumed that the circumferential joint is defect free (joint efficiency = 1). Other assumption was the thickness of the shell is uniform everywhere.

2.3 Finite Element (Meshing)

Finite elements were divided both circumferentially and longitudinally. Element type used was SHELL281 from the ANSYS element library. This element has eight nodes with six degree of freedom at every node: translation in the -x, -y, and -z direction and rotation about the -x, -y, and -z axis. The number of elements in longitudinal and circumferential direction were 180 and 36 respectively. The number of elements for the nozzle are 720. The total number of elements are 6637 with corresponding nodes of 20014. Typical finite element model is shown in Fig.2.

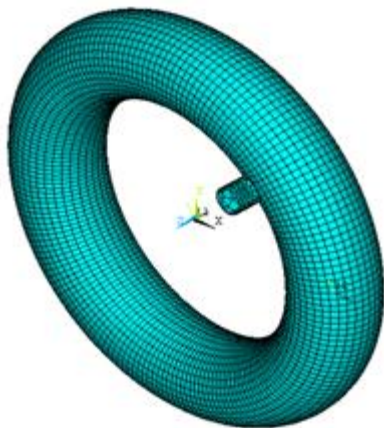


Fig.2 FE Model of Toroidal Tank

2.4 Boundary Conditions and Loading

For finite element model as shown in Figure 2 with internal pressure loading, boundary conditions that need to be applied is zero displacement in longitudinal direction of all nodes located at 45 degree longitudinally of the toroidal plane.

Internal pressure load (MPa) that need to be applied to obtain limit pressure can be estimated by calculating the internal pressure needed for yielding p_Y . For material properties of LPG tank: JIS G3116 SG-295 ($\sigma_Y = 295$ MPa), internal pressure for yielding can be calculated according to the following equation:

$$p_Y = \frac{2t\sigma_Y}{r} \left(\frac{\rho - 1}{2\rho - 1} \right) \quad (4)$$

Using the value of r of 45.2 mm, thickness of 2.3 mm, yield stress of 295 MPa, and radius ratio of 4, pressure to yield was obtained as follows:

$$p_Y = \frac{2 \times 2.3 \times 295 \times 3}{45.2 \times 7} = 12.866 \text{ MPa}$$

In this analysis, internal pressure load of $1.5p_Y$ was applied. To obtain the limit pressure, internal pressure load was ramped in single load step. Newton-Raphson algorithm for nonlinear solution was implemented.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows typical stress contour plot when limit pressure is achieved. It was plotted for nozzle position of $0.49d$, where d is cross-section diameter of the toroidal tank. The limit pressure for this nozzle position is 14.23 MPa.

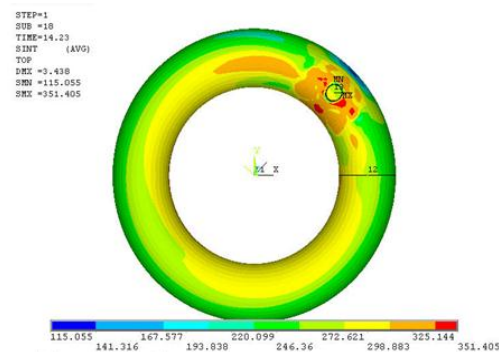


Fig.3 Typical stress contour for limit condition

Figure 4 shows non-dimensional limit pressure for different nozzle position, measured from intrados radial to extrados. It can be seen from the figure that the highest limit pressure is

$$p_L = 1.142 p_Y$$

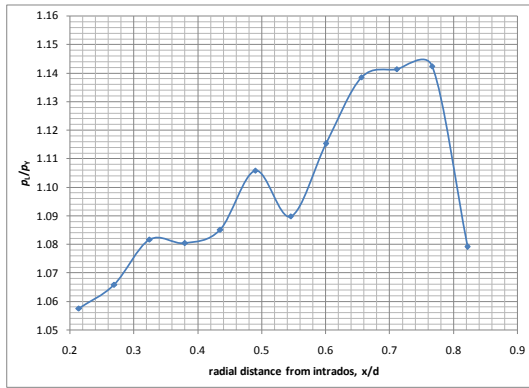


Fig.4 Limit pressure LPG toroidal tank

From equation (4), $p_v = 12.868$ MPa, so that $p_L = 1.142 \times 12.868$ MPa = 14.7 MPa.

Lubis et al [7] carried out finite element study on limit pressure of current LPG Tank 3kg of PERTAMINA, and found the value of 6.54 MPa. Comparing this value with results from the present analysis, it can be seen that strength of toroidal tank is more than twice.

Lubis [6] has also shown that limit pressure for the same toroidal tank, but without nozzle is 14.8 MPa. The present results indicated that nozzle in toroidal tank reduce the limit pressure slightly, with only small bending effect.

Figure 5 shows non-dimensional maximum stresses plotted against nozzle position measured from intrados. It can be seen that maximum stress σ_L become lower as the nozzle moves close to extrados. This result confirms the membrane theory that the lowest pressure located at the extrados. However, there is slightly fluctuation both in intrados and extrados region. This probably would not be expected for radial nozzle and will be presented in another paper.

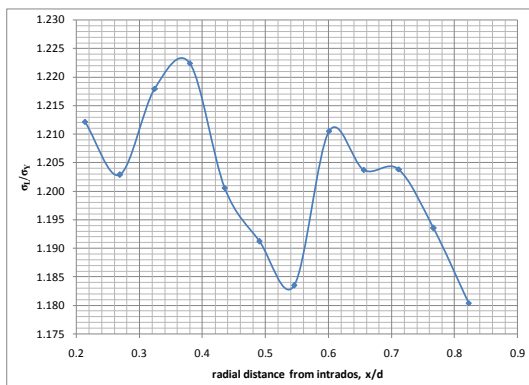


Fig.5 Limit stress intensity (Tresca)

Figure 6 shows the value of plastic limit strain plotted against nozzle position. Figure 6 again shows that the best design for nozzle position is close to extrados, $x = 0.767$ times the diameter of cross-section.

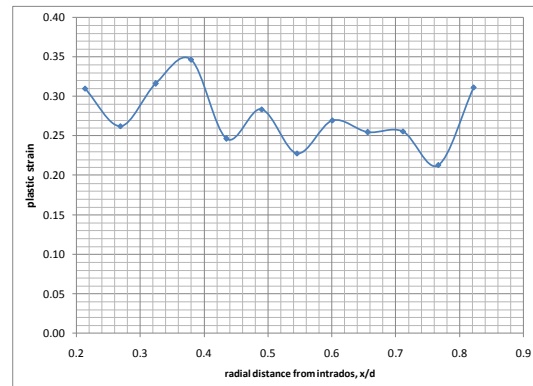


Fig.6 Plastic limit strain for toroidal tank

From figure 4, 5, and 6, it was then decided to choose toroidal tank having a non-radial nozzle located to extrados, i.e., 0.767 times the diameter of cross-section.

Having established the best design based on radius ratio ($\rho = 4$) and non-radial flush nozzle, the next steps are to design for radial flush nozzle, radial protrude nozzle, non-radial protrude nozzle, and toroidal elliptic/oval with non-radial nozzle. These aspects will be analyzed further elsewhere

CONCLUSION

From the foregoing discussion of parametric studies to obtain the limit pressure of toroidal shell, the following conclusion can be drawn: (1) the best design of toroidal tank for LPG 3kg is toroidal tank having radius ratio of 4. (2) For toroidal tank having non-radial flush nozzle, such nozzle should be located close to extrados.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge Fakultas Teknik Universitas Lampung for partially funding this research in DIPA FT UNILA 2012.

REFERENCES

- [1]. Tzou, H.S., dan Wang, D.W., 2003, Vibration Control of Toroidal Shells with Parallel and Diagonal Piezoelectric Actuators. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol. 125, No. 2, hal. 171 – 176.

- [2]. ASME, 2007, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII Division 1. *Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-10, 2 – 3 November 2011, Universitas Brawijaya, Malang.*
- [3]. Btachut, J., 2003, Collapse Tests on Externally Pressurized Toroids. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 125, No. 1, hal. 91 – 96.*
- [4]. Jiang, W., dan Redekop, D., 2003, Static and Vibration Analysis of Orthotropic Toroidal Shells of Variable Thickness by Differential Quadrature. *Thin-Walled Structures, Vol.41 No.5, hal. 461 – 78.*
- [5]. Kisioglu, Y., 2009, Burst Tests and Volume Expansions of Vehicle Toroidal LPG Fuel Tanks. *Turkish Journal of Engineering Environmental Science, Vol.33 hal. 117 – 125.*
- [6]. Lubis, A., 2011, Strength Design of Toroidal Tank for LPg 3kg. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, 13 – 15 Oktober 2010, Universitas Sriwijaya, Palembang.*
- [7]. Lubis, A., Rudolf S Saragih, dan Ahmad Suudi, 2010, Studi limit tekanan pada tabung LPG 3kg dengan metode elemen hingga. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, 13 – 15 Oktober 2010, Universitas Sriwijaya, Palembang.*
- [8]. Velickovic, V., 2007, Stress and Strain States in the Material of the Stressed Toroidal Container for Liquefied Petroleum Gas. *Scientific Technical Review, Vol. LVII, No.3-4, pp. 94 – 105.*
- [9]. Winarto, dan Johny Wahyuadi S, 2008, Pengkajian Karakteristik Bahan Baku (Raw Material) Lembaran Baja (Steel Plate) untuk Tabung Gas 3kg Produk Lokal dan Impor Secara Matalurgi. *BSN Indonesia.*

Pemotongan Plat Baja Semiotomatis dengan Oksi-Asetilen pada Ketebalan Plat 2,4,6,8 dan 10 mm

M. YUNUS

UPT.BPML-LIPI . HP. 0812 791 9567.

E-mail : myun001@lipi.go.id.

Abstract

Competition faced by working very hard, one of which is in the industrialized world. Many industries that have been developed using equipment that is modern and sophisticated, both large industrial or small industry. In the industrial world and the workshop are still many who use the process of manually cutting plate. Therefore encourage the authors to conduct experiments using a semi-automatic plate cutting process oxy-asetilen. Metal cutting using oxy-acetylene is to separate the metal from the parent metal with a flame produced from the combustion of oxygen and acetylene. to get the pieces and cut the capacity of semi-automatic plate cutting machines that have been designed with 2,4,6,8 plate thickness and 10 mm. With the data collection methods of literature studies, field studies, print media, electronic media as well as conducting experiments and semi-automatic plate cutting process directly in the garage to get the data results. Semi-automatic plate cutting using oxy-acetylene with a thick plate of 2,4,6,8 and 10 mm length 1000 mm plate using the cutting speed of 3 mm / sec is obtained when the average cutting plate 2 mm thick, 142.8 sec, 4 mm thick plate , 145.8 seconds, the plate thickness 6 mm, 148.8 seconds, the plate thickness 8 mm, 172.2 seconds, and 10 mm thick plate, 181.8 seconds. By using a cutting speed of 6 mm / sec is obtained when the average cutting plate 2 mm thick, 140.4 seconds, the plate thickness 4 mm, 144.6 seconds, the plate thickness 6 mm, 146.4 seconds, the plate thickness 8 mm, 148.8 seconds and a thick plate 10 mm, 151.8 seconds. The higher the cutting speed is used, the cutting process will be faster, emakin cut thick plate cutting will require a longer time.

Keywords : *Speed, time, and tool steel semi-automatic plate cutter.*

PENDAHULUAN

Pemotongan logam dengan nyala *oksi-asetilen* merupakan salah satu proses produksi yang sangat penting. Nyala api pemotongan ini berbeda dengan nyala api las karena disekitar lubang utama yang dialiri oksigen murni terdapat lubang kecil untuk pemanas mula. Nyala api pemanas mula serupa dengan nyala api las dan berfungsi sebagai pemanas baja atau logam sebelum proses pemotongan terjadi. Salah satu logam yang dapat di potong dengan *Oksi-asetilen* adalah plat karena plat banyak digunakan untuk bahan pembuatan alat-alat konstruksi. Pemotongan logam menggu -nakan oksi-asetilen adalah memisahkan sebagian logam dari logam induknya dengan reaksi kimia, yaitu reaksi logam dengan nyala api yang di hasilkan dari pembakaran gas asetilen dan oksigen. Mendapatkan hasil waktu pemotongan pada proses pemotongan plat semiotomatis dengan ketebalan plat 2,4,6,8 dan 10 mm menggunakan kecepatan potong 3 mm/detik dan 6 mm/detik. Mengetahui jenis nyala api yang baik untuk proses pemotongan plat semiotomatis dengan ketebalan plat 2,4,6,8 dan 10 mm menggunakan kecepatan potong 3 mm/detik dan 6 mm/detik.

METODELOGI

Proses pemotongan plat semiotomatis menggu -nakan oksi-asetilen dengan tebal plat 2,4,6,8 dan 10 mm terhadap kecepatan potong 3 mm/detik dan 6 mm/detik.

Variabel Percobaan

Dalam percobaan ini variabel yang mempenga -ruhi adalah :

Variabel bebas : Tebal plat

Variabel terikat : Waktu pemotongan plat

Variabel terkendali: Kec potong, dan Nyala api

Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini adalah : ” Tebal plat pada waktu proses pemotongan plat semi -otomatis sangat mempengaruhi waktu pemotongan”.

Alat dan Bahan

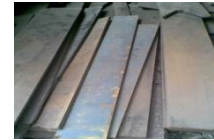
Peralatan yang dipakai dalam proses pemotongan plat menggunakan oksi- asetilen semiotomatis ini menggunakan mesin potong plat yang telah di rancang oleh saudara Sigit diyah puspito serta perlengkapan untuk proses pemo -tongan plat seperti tabung oksigen dan asetilen, regulator oksigen dan asetilen, nozel, selang las, brander. Sedangkan untuk peralatan potong plat menggunakan pematik, meteran, jangka sorong, gerinda, kapur, kaca mata las, sepatu, sarung tangan dan pakaian las.

Mesin Potong Plat Semiotomatis

Mesin ini dapat digunakan untuk memotong plat dengan tebal plat 2 sampai 15 mm. Mesin ini terdiri dari: motor penggerak, roda penggerak, pengatur jarak brander, rel roda penggerak, rantai, pengatur kecepatan potong. Mesin ini diberi rel dibawah roda, fungsi dari rel ini adalah agar mesin potong dapat bergerak maju dan mundur.



Gambar 2.1 Mesin potong plat semiotomatis



Gambar 2.4 Plat sebelum dipotong

Alat Pengatur Kecepatan

Alat pengatur kecepatan ini terdapat pada bagian atas mesin potong plat semiotomatis. Pengatur kecepatan ini memiliki 6 kecepatan yang bisa diatur sesuai kecepatan yang akan digunakan untuk memotong plat. Kecepatan maksimum pada mesin potong plat semiotomatis 0,07 meter/detik. Mesin mempunyai alat pengatur potong dapat bergerak maju dan mundur. Pada percobaan ini kecepatan potong digunakan kecepatan 3 mm/ detik dan 6 mm/detik. Karena kedua kecepatan tersebut dapat digunakan sebagai pembanding untuk mendapatkan data hasil percobaan pemotongan plat semiotomatis yaitu pada waktu pemotongan plat.



Gambar 2.2 Alat pengatur kecepatan mesin potong

Brander Potong

Brander potong yang digunakan mempunyai ukuran panjang ± 40 cm yang terdiri dari 28 cm leher potong yang dapat ditukar dan 12 cm gagang untuk dipegang. Brander potong berbeda dengan brander las karena brander potong mempunyai tiga saluran berbeda. Pada proses pemotongan plat brander yang digunakan adalah jenis brander tekanan rendah, sedangkan nosel yang dipakai untuk memotong plat dengan tebal 2-6 mm adalah nosel nomor 0, untuk plat dengan tebal 6-10 mm adalah nosel nomor 1 sesuai dengan tabel 2.3. Di bawah ini adalah gambar brander dan nosel yang digunakan.



Gambar 2.3 Brander potong

Bahan yang digunakan dalam proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen adalah plat jenis baja lunak St 37 dengan ketebalan plat 2,4,6,8 dan 10 mm. Yang dimaksud St 37 adalah jenis baja lunak dengan titik kritis patah maksimal 37 (N/mm²).

Pengumpulan Data

1. Metode Observasi

Melalui pengamatan dengan pencatatan data secara sistematis terhadap proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen dengan ketebalan plat 2,4,6,8 dan 10 mm, di mana data ini sangat berpengaruh untuk hasil akhir dari percobaan pemotongan plat. Pada proses pemotongan plat semiotomatis dengan ketebalan dan kecepatan potong yang sama dilakukan eksperimen sebanyak 3 kali.

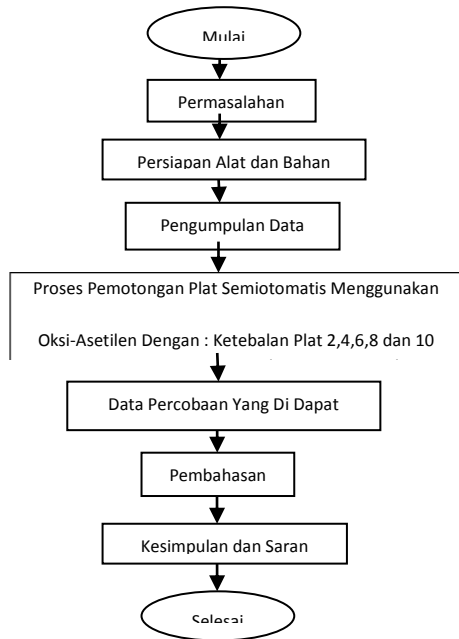
Berikut adalah cara proses pemotongan plat semiotomatis :

- Siapkan bahan yang akan dipotong dan sudah diberi garis potong.
- Pasang brander potong pada mesin potong plat semiotomatis yang sudah tersambung dengan selang dari tabung oksigen dan asetilen.
- Pasang plat yang akan dipotong dan sudah dibersihkan dibawah brander potong, sebelum dipotong plat terlebih dahulu diberi garis yang akan dipotong.
- Setel tekanan pada tabung oksigen dan asetilen sesuai dengan tebal plat yang akan dipotong lalu nyalakan brander dengan api.
- Sebelum melakukan proses pemotongan lakukan pemanasan awal terlebih dahulu pada plat agar proses pemotongan lancar.
- Plat siap dipotong bila nyala api pemotong -an sudah benar.
- Lakukan pemotongan plat menurut prosedur .

2. Metode literatur

Yaitu mencari data dari buku-buku perpustakaan, mesia elektronik, buku pengelasan, buku proses pemotongan plat dan literatur lain.

Skema percobaan



Gambar 2.5 Diagram alir percobaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen dilakukan untuk mendapatkan waktu pemotongan plat dan kualitas hasil pemotongan. Plat yang dipotong memiliki ketebalan 2,4,6,8 dan 10 mm dengan panjang 1000 mm menggunakan mesin potong plat semiotomatis. Untuk mendapatkan data hasil percobaan yang optimal, proses pemotongan dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap proses pemotongan dengan tebal plat yang sama. Dibawah ini adalah gambar proses pemotongan plat semiotomatis.



Gambar 3.1 Proses pemotongan plat semiotomatis

Kecepatan yang digunakan pada proses pemotongan plat semiotomatis adalah kecepatan 3 mm/detik dan 6 mm/detik. Ketika awal proses pemotongan, sebelum plat dipotong, plat terlebih dahulu dipanaskan dengan nyala api dari hasil pembakaran oksigen dengan asetilen (pemanasan awal). Plat yang dipanaskan hanya ujungnya saja, tujuan proses pemanasan awal ini adalah untuk mendapatkan titik cair plat atau logam sebelum dipotong. Tinggi suhu pemanasan awal dapat

tergantung pada tebal plat yang akan dipotong, yaitu sekitar antara 100⁰ C sampai dengan 900⁰ C.

Selain melakukan pemanasan awal sebelum melakukan proses pemotongan plat, pekeja juga harus mengatur tekanan kerja tabung gas oksigen dan tabung gas asetilen yang digunakan untuk memotong plat.

Tujuan dari pengaturan tekanan kerja dari kedua tabung ini adalah agar proses pemotongan dapat dilakukan, karena jika tekanan kerja gas yang dipakai tidak sesuai dengan tebal plat yang akan dipotong maka plat akan sulit untuk terpotong. Selain itu jika tekanan gas yang diatur sesuai maka, hasil dan kualitas potong plat akan optimal.

Pada percobaan ini tekanan kerja gas oksigen dan gas asetilen yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Hubungan tebal plat, tekanan kerja dan ukuran pembakar pemotongan plat

| Nomor ujung pembakar | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
|--|------|------|------|------|------|
| Tebal plat (dalam mm) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Tekanan kerja oksigen (kg/cm ²) | 4,50 | 4,50 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Tekanan kerja asetilen (kg/cm ²) | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |

Hasil Proses Pemotongan

Setelah melakukan percobaan pemotongan plat maka diperoleh waktu pemotongan, hasil pemotongan dan kualitas potongan. Plat yang berkarat dan permukaan plat yang tidak rata dapat mempersulit proses pemotongan dan dapat mempengaruhi hasil dan kualitas potong plat.

Dengan melakukan percobaan ini penulis dapat mengetahui sejauh mana kapasitas dari mesin potong plat semiotomatis dengan mendapatkan data hasil pemotongan dan kualitas potong plat. Mesin plat semiotomatis ini diharapkan dapat membantu dan meringankan pekerja untuk melakukan proses pemotongan plat di industri.

Waktu Pemotongan

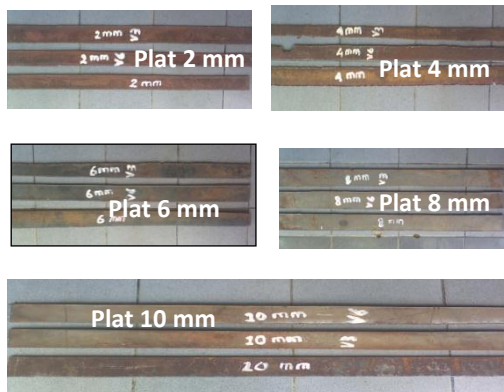
Dari hasil proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen diperoleh waktu pemotongan plat untuk setiap masing-masing plat dengan ketebalan plat 2,4,6,8 dan 10 mm menggunakan kecepatan potong 3 mm/detik dan 6 mm/detik. Waktu hasil pemotongan plat ini dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Waktu hasil uji coba pemotongan plat

| Kec. Potong | Tebal plat (mm) | | | | | Keterangan |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| Waktu 3 mm/detik | 141.6 | 145.8 | 148.2 | 180.0 | 181.2 | Panjang plat yang dipotong adalah 1000 mm |
| | 143.6 | 144.6 | 150.0 | 181.2 | 183.0 | |
| | 144.6 | 147.6 | 149.4 | 155.4 | 181.8 | |
| Waktu rata-rata (detik) | 142.8 | 145.8 | 148.8 | 172.2 | 181.8 | |
| Waktu 6 mm/detik | 138.6 | 144.0 | 145.8 | 148.8 | 153.0 | |
| | 140.4 | 146.4 | 148.2 | 150.0 | 150.6 | |
| | 142.4 | 144.6 | 146.4 | 148.2 | 152.4 | |
| Waktu rata-rata (detik) | 140.4 | 144.6 | 146.4 | 148.8 | 151.8 | |

Hasil Pemotongan

Selain waktu, proses pemotongan plat semiotomatis juga menghasilkan potongan plat dan kualitas pemotongan dapat dilihat gambar 4.2

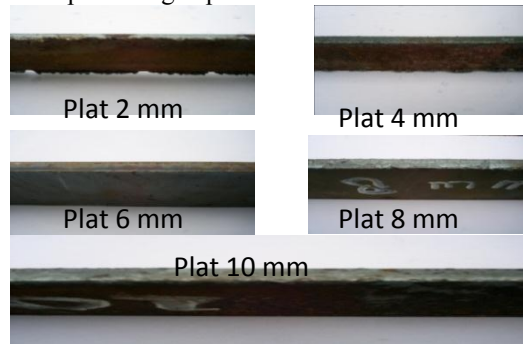


Gambar 3.2 Hasil pemotongan plat semiotomatis dgn tebal plat 2,4,6,8 dan10 mm menggunakan kecepatan potong 3 mm/detik dan 6 mm/detik

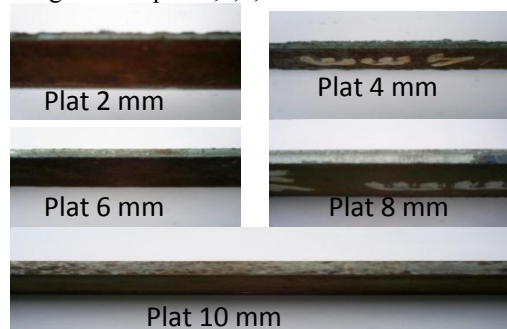
Banyak jenis plat yang terdapat di industri dan konstruksi yang digunakan, dari yang tebal sampai yang tipis sesuai dengan yang dibutuhkan. Oleh karena itu plat banyak dipakai dalam pembangunan konstruksi dan industri khususnya yang memakai plat sebagai bahan utamanya. Plat yang digunakan pada proses pemotongan ini adalah jenis plat baja lunak yaitu St 37. Sedangkan untuk jenis baja sendiri dapat digolongkan menjadi tiga bagian yaitu, baja lunak St 37-45, baja sedang St 45-50 dan baja tinggi St 50-60. Untuk ukuran dimensi plat biasanya mempunyai ukuran panjang 1,2 meter dan lebar 2,4 meter.

Kwalitas Pemotongan

Untuk memperoleh hasil dan kualitas potongan yang optimal maka harus menyesuaikan nomor nosel yang akan digunakan dengan tebal plat yang akan dipotong. Pada percobaan ini nomor nosel yang digunakan untuk memotong tebal plat 2-6 mm adalah nomor 0, sedangkan untuk memotong plat dengan tebal plat 6-10 mm adalah nomor 1. Selain itu faktor lain yang dapat berpengaruh adalah korosi (karat) pada permukaan plat dan permukaan plat yang tidak rata juga dapat mempengaruhi hasil dan kualitas potong plat pada proses pemotongan plat. Pada proses pemotongan plat semiotomatis, mesin potong plat dapat bekerja secara kontinu, sehingga dapat menghemat waktu untuk proses pemotongan dan dapat menghasilkan kualitas potong yang baik. Hasil ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 yaitu gambar kualitas hasil pemotongan plat semiotomatis. Dibawah ini dapat dilihat gambar plat hasil pemotongan plat semiotomatis.



Gambar 3.3 Kualitas hasil pemotongan plat semiotomatis menggunakan kec potong 3 mm/detik dengan tebal plat 2,4,6,8 dan 10 mm



Gambar 3.4 Kualitas hasil pemotongan plat semiotomatis menggunakan kec potong 6 mm/detik dengan tebal plat 2,4,6,8 dan 10 mm

Pengaruh Ketebalan Plat Terhadap Kecepatan Potong

Pada proses pemotongan plat semiotomatis ketebalan plat sangat mempengaruhi proses pemotongan. Pada waktu proses pemotongan terjadi ketebalan plat sangat menentukan kecepatan potong yang akan digunakan untuk memotong plat dengan ketebalan yang berbeda. Karena untuk mendapatkan hasil dan kualitas potongan yang baik maka tebal plat dan kecepatan potong mesin potong plat

semiotomatis harus sesuai. Kecepatan potong yang digunakan tidak boleh terlalu rendah atau terlalu cepat karena akan mempengaruhi hasil akhir dari proses pemotongan plat. Selain dapat mempengaruhi hasil dan kualitas potongan, ketebalan plat juga dapat menentukan tekanan gas yang akan digunakan untuk proses pemotongan karena, semakin tebal plat yang akan dipotong maka gas yang akan digunakan akan bertambah besar. Pada hasil potongan plat yang telah dipotong menggunakan mesin potong plat semiotomatis dapat terlihat hasil potongan plat yang bervariasi, hal ini disebabkan karena tebal plat dan kecepatan potong mesin yang digunakan berbeda. Mesin potong plat semiotomatis mempunyai 6 kecepatan (v) yaitu, kecepatan 1 mm/detik sampai 6 mm/detik. Setiap kecepatan mempunyai kecepatan yang berbeda, semakin besar kecepatan yang digunakan maka semakin cepat mesin potong bergerak. Mesin ini dapat bergerak maju, mundur dan bergerak dengan konstan sehingga kemungkinan kesalahan dlm proses pemotongan plat sangat kecil. Pada proses percobaan yang telah dilakukan menggunakan mesin potong plat semiotomatis dengan 2 kecepatan potong yaitu, kecepatan 3 mm/detik dan kecepatan 6 mm/detik. Setiap kecepatan digunakan untuk memotong plat dengan tebal plat 2,4,6,8 dan 10 mm dengan panjang plat 1000 mm. Setelah melakukan percobaan pemotongan plat semiotomatis, tiap-tiap plat mempunyai kecepatan potong yang sesuai dengan ketebalan plat yang akan dipotong.

Dari hasil percobaan ini maka didapat hasil dan kualitas potongan plat yang baik untuk masing-masing plat dengan ketebalan dan kecepatan yang berbeda. Karena kecepatan mesin potong plat semiotomatis ini dapat bergerak secara kontinyu. Untuk ketebalan plat 2, 4 dan 6 mm kecepatan yang baik untuk memotong plat ini adalah kecepatan potong 6 mm/detik. Kecepatan 6 mm/detik sesuai digunakan karena memiliki kecepatan waktu potong yang cepat dibandingkan kecepatan potong 3 mm/detik yang lebih lambat, sehingga sesuai untuk memotong plat 2,4 dan 6 mm yang memiliki ketebalan yang tidak terlalu tebal sehingga mendapatkan hasil dan kualitas potong yang baik. Untuk ketebalan plat 8 dan 10 mm kecepatan potong yang sesuai untuk memotong plat ini adalah kecepatan potong 3 mm/detik. Karena tebal plat 8 dan 10 mm lebih tebal dibandingkan tebal plat 2, 4 dan 6 mm, yang lebih tipis maka kecepatan 3 mm/detik lebih sesuai untuk memotong plat 8 dan 10 mm. Kecepatan 3 mm/detik memiliki waktu pemotong-an yang lebih lama sehingga sesuai untuk memotong plat yang lebih tebal. Kecepatan potong 3 mm/detik dapat menghasilkan kualitas potongan yang baik untuk memotong plat tebal. Hasil dan kualitas pemotongan plat dinyatakan baik apabila memenuhi syarat sebagai berikut. Alur potong harus cukup kecil. Permukaan potong halus. Terak mudah

terkelupas dan Sisi sudut pemotongan membulat, tidak terjadi cacat pada sisi potong plat

Pengaruh Nyala Api Terhadap Hasil Pemotongan

Proses pemotongan oksi-asetilin dilakukan dengan cara mencampur gas dari asetilen (C_2H_2) yang dicampur dengan oksigen (O_2) sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu tinggi hingga mencapai 3000^0 C yang mampu memisahkan logam dari logam induknya. Pemotongan logam dengan nyala api oksi-asetilen merupakan salah satu proses produksi yang penting. Nyala untuk pemotongan ini berbeda dengan nyala las karena disekitar lubang utama yang dialiri oksigen murni terdapat lubang kecil untuk nyala pemanas mula. Prinsip dasar las oksi-asetilen adalah ketika gas asetilen dibakar dalam proporsi yang sesuai dengan oksigen sehingga dapat digunakan untuk proses pemotongan dan akan timbul nyala api yang cukup panas untuk memotong logam. Jenis nyala api yang digunakan pada waktu proses pengelasan maupun pemotongan dengan oksi-asetilen yaitu : Nyala api netral, Nyala api karburasi dan Nyala api oksidasi. Dari ketiga nyala api ini diatas yang sering digunakan untuk proses pemotongan plat atau logam adalah nyala api netral. Nyala api netral merupakan hasil pembakaran dari oksigen dan asetilen dengan perbandingan 1:1. Suhu maksimum yang dihasilkan dari nyala api netral mencapai 3000^0 C - 3300^0 C. sehingga baik untuk proses pemotongan logam. Pada proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksi-asetilen, nyala api ini banyak digunakan untuk memotong plat dengan ketebalan 2,4,6,8 dan 10 mm. Pengaruh nyala api pada proses pemotongan logam atau plat sangat penting. Karena apabila nyala api yang digunakan tidak sesuai dengan ketebalan plat yang akan dipotong maka akan mempengaruhi hasil pemotongan, pengaturan nyala api sebelum proses pemotongan dilakukan harus diperhatikan. Hasil pemotongan plat yang salah karena nyala api yang digunakan tidak sesuai dengan tebal plat yang digunakan bercirikan : Permukaan kasar. Alur potong besar. Terak tidak terkelupas dan Bidang plat tidak rata dan tajam. Hal yang perlu diperhatikan pada waktu nyala api pemotongan logam adalah pada saat proses pemotongan terjadi, nyala api dinyatakan baik dan sesuai apabila pada saat pemotongan tidak terjadi percikan api yang besar dan menyebar, jarak nosel dari plat yang dipotong ± 3 mm dan tekanan kerja gas yang digunakan juga harus diperhatikan, jenis nyala api yang baik dan sesuai untuk proses pemotongan plat semiotomatis adalah nyala api netral. Sedangkan nyala api yang dinyatakan kurang baik untuk proses pemotongan plat adalah nyala api karburasi. Nyala api karburasi adalah nyala api kelebihan gas asetilen. Nyala api ini berwarna kemerahan tetapi inti nyala api tetap berwarna biru sehingga apabila digunakan untuk proses

pemotongan kurang baik karena, logam akan sulit terpotong dan menghasilkan potongan yang tidak optimal. Dibawah ini dapat terlihat contoh gambar nyala api waktu proses pemotongan plat terjadi.



Gambar 3.5 Nyala api yang baik pada waktu proses pemotongan plat



Gambar 3.6 Nyala api yang kurang baik pada waktu proses pemotongan plat

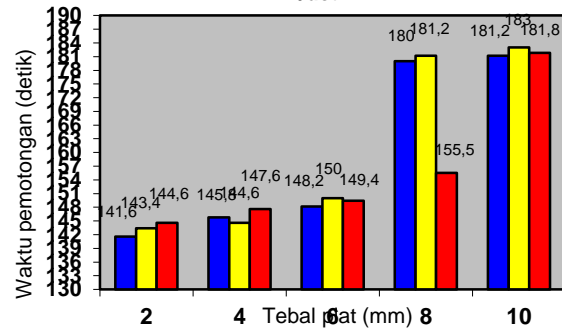
Pada gambar diatas dapat dilihat perbedaan antara nyala api yang baik dan nyala api yang kurang baik pada waktu proses pemotongan plat terjadi. Pada gambar 4.5 nyala api yang terjadi adalah jenis nyala api netral, nyala api ini baik digunakan untuk proses pemotongan. Sedangkan pada gambar 4.6 jenis nyala api yang terjadi adalah nyala api oksidasi yaitu nyala api kelebihan oksigen sehingga pada waktu proses pemotongan terjadi gas oksigen yang berlebih dapat menimbulkan nyala api yang besar dan menimbulkan percikan api. Proses pemotongan plat dilakukan biasanya sering mengalami letupan api yang besar, letupan api itu akan mempengaruhi hasil dan kualitas pemotongan pada plat hal ini disebabkan karena adanya karat (korosi) pada bidang plat dan panas yang berlebih pada ujung pembakar alat potong (nosel). Kecepatan potong yang terlalu cepat juga dapat mempengaruhi proses pemotongan karena, plat yang dipotong terkadang tidak terpotong sampai tembus ke bawah plat. Oleh karena itu kecepatan potong pada mesin potong juga harus diperhatikan pada saat proses pemotongan plat dilakukan.

Pembahasan Proses Pemotongan Plat

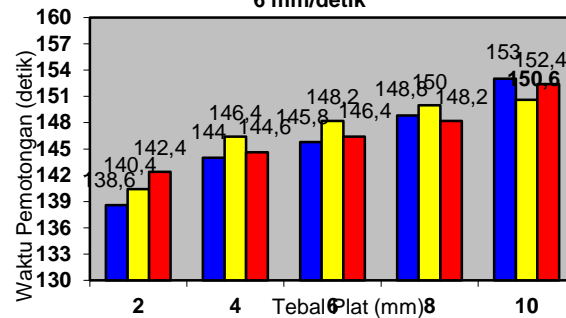
Pada pembahasan proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen ada beberapa hal yang perlu dibahas dan diketahui untuk mendapatkan hasil dan kualitas potong plat yang optimal sesuai dengan prosedur penggunaan alat potong plat semiotomatis. Dalam proses pemotongan plat semiotomatis ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pemotongan plat, antara lain sebagai berikut : rel mesin potong yang melengkung, permukaan plat tidak rata, karat (korosi) pada plat, nosel terlalu panas, tekanan kerja gas oksigen tidak sesuai dan tekanan kerja gas asetilen tidak sesuai. Hal yang perlu dibahas dari

hasil proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen yang telah dilaksanakan adalah mengenai waktu pemotongan, hasil dan kualitas pemotongan plat. Waktu pemotongan plat yang telah didapatkan setelah melakukan proses pemotongan plat semiotomatis menggunakan oksasi-asetilen dengan tebal plat 2,4,6,8 dan 10 mm dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar grafik berikut

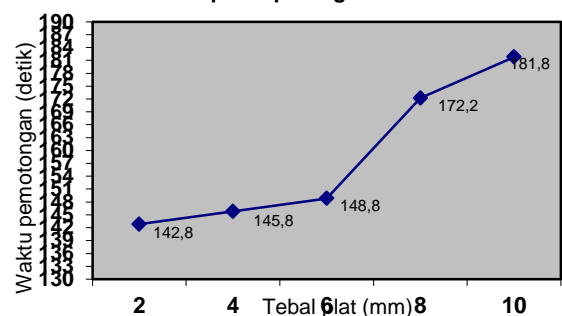
Gambar 3.7 Grafik waktu pemotongan plat semiotomatis dengan Kecepatan potong 3 mm/detik

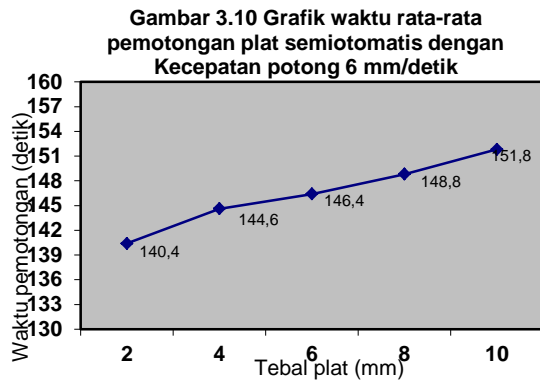


Gambar 3.8 Grafik waktu pemotongan plat semiotomatis dengan kecepatan potong 6 mm/detik



Gambar 3.9 Grafik waktu rata-rata pemotongan plat semiotomatis dengan Kecepatan potong 3 mm/detik





Solih Rohyana., 2008. *Mengenal Dengan Teknik Las Gas*. CV. Arfindo Raya, Bandung.
Suratman, M., 2001. *Teknik Mengelas*. Pustaka grafika, Bandung.
Petruzella, F.D., 2007, *Elektronik Industri*. Andi, Yog

KESIMPULAN

1. Semakin tinggi kecepatan potong plat semiotomatis mesin akan bergerak cepat.
2. Semakin tebal plat dipotong dengan kecepatan dan tekanan gas yang sama maka, waktu yang dibutuhkan proses pemotongan plat akan memerlukan waktu lebih lama.
3. Kecepatan 6 mm/detik lebih baik digunakan untuk memotong plat tebal 2,4 dan 6 mm sedangkan kecepatan 3 mm/detik baik digunakan memotong plat tebal 8 dan 10 mm.
4. Nyala api yang kurang baik dapat mempengaruhi hasil dan kualitas potong plat.
5. Mesin potong plat semiotomatis dapat beroperasi secara kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., dan Ostwald, F.P., 1995. *Teknologi Mekanik jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi R.I., 2006. *Melakukan Pemanasan, Pemotongan Panas dan Geuging Secara Manual*. Direktorat Jenderal pembinaan pelatihan dan produktivitas, Jakarta.
- Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi R.I., 2006. *Mengelas Dengan proses Las Oksigen Asetilin*. Direktorat Jenderal pembinaan pelatihan dan produktivitas, Jakarta.
- Harsono Wiryosumarto dan Toshiro Okumura., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Heru Prasetya., 2006. *Pemotongan Pelat*. <http://indonesia-mekanikal.blogspot.com>.
- Hery Sonawan., 2003. *Pengelasan Logam*. Alfabeta, Bandung.
- Joseph, E.S., 1986. *Perencanaan Teknik Mesin jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Maman Suratman., 2001. *Teknik Mengelas Asetilin, Brazing dan Las Busur Listrik*. Pustaka Grafika, Bandung
- Rohyana, S., 1999. *Perhitungan Kontruksi Mesin*. Amirco, Bandung.
- Sularso dan Kiokatsu S., 1997. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin Elemen*. Pradnya paramitha, Jakarta.

Transesterification Refined Palm Oil (RPO) to Biodiesel with Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR)

Syamsidar¹, Muhammad Irfanudin¹, Yesika Fitriana¹, Sufriadi Burhanuddin²

¹ Student of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Lampung University

² Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Lampung University, Bandar Lampung, Indonesia 35145

Email : yesika_fitriana@yahoo.com

ABSTRACT

A new metode for continuous transesterification proses using Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR) has been developed. The design are heating a microwave which microwave penetrate the glass tube. This research have done for knows about efisiensi of Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR) resulted biodiesel from Refined palm oil (RPO) that range in Standart National of Indonesia (SNI) and to obtain an empiris correlation between viscosity biodiesel of the four variables, that is the reaction temperature, molar ratio, catalyst tipe, and residence time. The variation of each variable is the reaction temperature 70°C and 75°C, molar ratio of 1:15 and 1:20, type catalyst KOH and NaOH, and residence time of 50 seconds and 60 seconds. The result of this research are viscoscity of biodiesel about 4-6 mm²/s, cetane number : 71,3 and light point 165 °C. Empiris corelation those resulted can use to see that of variables of transesterification process with viscosity of biodiesel. This part is identification that Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR) that designing can use to product biodiesel that in range Standart National of Indonesia (SNI).

Keywords: , biodiesel , microwave, Transesterification, viscosity

PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif sangat diperlukan seiring terus meningkatnya penggunaan dan menipisnya cadangan minyak bumi. Salah satu sumber energi alternatif yang memungkinkan untuk dikembangkan adalah biodiesel. Biodiesel berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu minyak tumbuhan dan lemak hewan (Soerawidjaya, 2005).

Biodiesel sebagai sumber energi alternatif dapat digunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan petrosolar; mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan petrosolar sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel tanpa modifikasi; dapat terdegradasi (biodegradable); asap buangan biodiesel tidak hitam; emisi pembakaran yang dihasilkan ramah lingkungan (Prakoso, 2003).

Penelitian tentang penggunaan mikrowave pada proses transesterifikasi secara kontinyu telah banyak dilakukan. Lertsathapornsuk dkk. (2006) melaporkan bahwa dengan menggunakan *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR), laju reaksi transesterifikasi lebih cepat. Konversi hampir mencapai 100% dengan waktu reaksi yang lebih singkat yaitu 30 sampai 60 detik. Meskipun

demikian, penelitian lain menunjukkan bahwa nilai viskositas biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR) belum memenuhi Standar Biodiesel Indonesia. Widodo dkk. (2007) melaporkan bahwa hasil pengukuran viskositas sebagai parameter penting biodiesel yang diproduksi dengan menggunakan *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR) mencapai 1.5 – 1.76 lebih kental dibandingkan dengan minyak diesel mineral standar (solar).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini akan mempelajari lebih lanjut tentang proses produksi biodiesel dengan menggunakan *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR) untuk menghasilkan biodiesel dengan viskositas memenuhi Standar Biodiesel Indonesia.

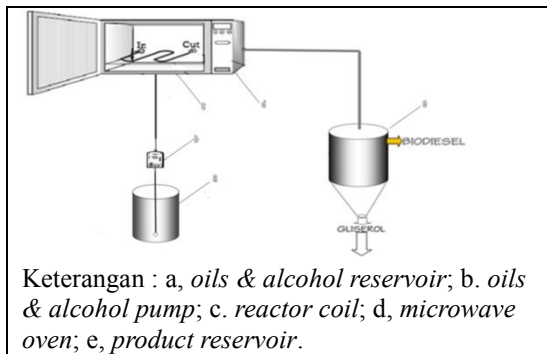
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *Refined Palm Oil* (RPO), methanol dengan kemurnian 96% yang diperoleh dari Laboratorium Penelitian Teknik Kimia, Katalis KOH dan NaOH dari toko kimia Animo Bandar Lampung.

Alat

Alat – alat yang digunakan yaitu *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR)



Gambar1. *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR)

tangki bahan baku dan produk, timbangan elektrik, gelas ukur, *Viskosimeter*, Stopwatch, decanter, evaporator, pompa peristaltik, botol sampel

PROSEDUR KERJA

Persiapan Bahan baku

Tahap persiapan bahan baku meliputi perhitungan kebutuhan *Refined Palm Oil* (RPO), methanol, dan katalis untuk setiap run percobaan. Kemudian dilakukan persiapan alat-alat yang digunakan. Seperti kalibrasi laju alir pompa peristaltik dan pengaturan waktu dan suhu *microwave*.

Reaksi transesterifikasi *Refined Palm Oil* (RPO) dengan methanol

Pada tahapan persiapan bahan baku sejumlah *Refined Palm Oil* (RPO) dan methanol sesuai dengan rasio molar reaktan 1: 15 dan 1:20, kemudian dialirkan kedalam *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR) sesuai dengan laju alir yang berhubungan dengan waktu tinggal didalam reaktor.

Setelah *Refined Palm Oil* (RPO) dan metoksida dialirkan kedalam *microwave* dan mengalami pemanasan maka akan diperoleh produk yang langsung terpisah menjadi 2 lapisan. Lapisan atas merupakan biodiesel dan lapisan bawah yaitu gliserol.

Produk kemudian dipisahkan menggunakan corong pisah, lapisan atas yang merupakan biodiesel kemudian dilakukan pencucian untuk menghilangkan sisa-sisa katalis, methanol dan gliserol yang masih terdapat dalam biodiesel. Pencucian dilakukan dengan menggunakan air hangat suhu 80°C, pencucian dihentikan setelah air

buangan pencucian sudah jernih yang mengindikasikan bahwa sisa-sisa katalis dan methanol telah bersih.

Analisis Data

Analisis viskositas produk biodiesel dilakukan dengan menggunakan alat viskosimeter.

Uji angka setana dilakukan dengan menggunakan metode uji ASTM D-613

Uji titik nyala dilakukan dengan menggunakan metode uji ASTM D-93

Untuk mendapatkan korelasi empiris antara viskositas dengan variabel penelitian yaitu temperatur, rasio molar reaktan, jenis katalis dan residence time digunakan rancangan percobaan *full factorial* $2^4 = 16$.

Nilai viskositas metil ester (biodiesel) yang diperoleh dari enam belas kali percobaan tersebut selanjutnya diolah dengan perangkat lunak minitab untuk dihasilkan persamaan sebagai berikut.

$$\mu \text{ prediksi} = b_0 + b_1T + b_2R + b_3K + b_4\tau + b_5TR + b_6TK + b_7T\tau + b_8RK + b_9R\tau + b_{10}K\tau$$

Dimana μ prediksi merupakan viskositas biodiesel hasil prediksi, T s.d. τ merupakan setting untuk faktor-faktor yang digunakan (parameter 1 s.d. parameter 4), b_1 s.d. b_{10} merupakan koefisien masing-masing parameter, dan b_0 merupakan intersep.

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian ini merupakan nilai-nilai dari pengolahan data setiap *run*. Pengujian kualitas hasil biodiesel dari peralatan transesterifikasi dilakukan dengan mengukur viskositas biodiesel hasil pemanasan *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR), kemudian dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk biodiesel.

Tabel 1. Nilai viskositas masing-masing run

| Run | Parameter | | | | | Viskositas (μ) mm ² /s |
|-----|-------------------|-----------------|-------------|---------------------------------|---|---|
| | Temperatur (T) °C | Rasio Molar (R) | Katalis (K) | Residence time (τ) detik | | |
| 1 | - | - | - | - | - | 5.62 |
| 2 | + | - | - | - | - | 5.21 |
| 3 | - | + | - | - | - | 5.34 |
| 4 | + | + | - | - | - | 4.53 |
| 5 | - | - | + | - | - | 5.49 |
| 6 | + | - | + | - | - | 4.82 |
| 7 | - | + | + | - | - | 5.31 |
| 8 | + | + | + | - | - | 4.52 |
| 9 | - | - | - | + | + | 5.43 |
| 10 | + | - | - | + | + | 4.81 |
| 11 | - | + | - | + | + | 5.27 |
| 12 | + | + | - | + | + | 4.21 |
| 13 | - | - | + | + | + | 5.35 |
| 14 | + | - | + | + | + | 4.74 |
| 15 | - | + | + | + | + | 5.26 |
| 16 | + | + | + | + | + | 4.18 |

Tabel 2. Parameter percobaan

| No | Parameter | Level | |
|----|---------------------------|------------|------------|
| | | Tinggi (+) | Rendah (-) |
| 1 | Temperatur (T) | 75 °C | 70 °C |
| 2 | Rasio molar (R) | 1:20 | 1:15 |
| 3 | Jenis katalis (K) | NaOH | KOH |
| 4 | Residence time (τ) | 60 detik | 50 detik |

Tingkat pengaruh ke-empat variabel yaitu temperatur, rasio molar reaktan, jenis katalis dan residence time dengan desain eksperimen *full factorial 2⁴* ditentukan dengan menggunakan Program Statistik Minitab. Sehingga dihasilkan persamaan garis lurus yang dapat digunakan untuk menunjukkan hubungan antara viskositas biodiesel yang diperoleh dengan keempat variabel proses seperti terlihat pada persamaan berikut:

$$\mu = 5.0056 - 0.378T - 0.1781R - 0.0468\tau - 0.0993K - 0.0893TR - 0.01567T\tau + 0.043TK + 0.036R\tau + 0.0018RK + 0.023\tau K + 0.0156TK - 0.0243TR\tau + 0.0143T\tau K + 0.023R\tau K + 0.0193TR\tau K \dots\dots(4.1)$$

Variabel temperatur memiliki pengaruh paling besar dalam menurunkan nilai viskositas. Hal tersebut dapat dilihat dari konstantanya yang memiliki nilai paling besar dibandingkan dengan variabel yang lain.

Sedangkan untuk dua variabel, yang paling berpengaruh dalam menurunkan nilai viskositas adalah interaksi antara temperatur dan rasio molar reaktan karena memiliki nilai konstanta yang paling besar.

Begitu juga dengan interaksi antara tiga variabel, interaksi antara temperatur, rasio molar reaktan, dan residence time adalah yang paling berpengaruh dalam menurunkan nilai viskositas.

PEMBAHASAN

Pengaruh temperatur terhadap viskositas

Berdasarkan hasil penelitian nilai viskositas semua run memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk biodiesel. Perolehan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka akan meningkatkan energi kinetik reaktan-reaktan untuk mengatasi energi aktivasi.

Ketika suhu reaksi tinggi maka konstanta laju reaksi (*k*) semakin besar sehingga laju reaksi

juga semakin besar dan semakin banyak trigliserida yang dapat terkonversi menjadi biodiesel. Hal ini dapat mengakibatkan biodiesel yang dihasilkan memiliki kekentalan yang lebih rendah.

Pengaruh rasio molar terhadap viskositas

Rasio molar antara minyak dengan methanol memiliki pengaruh terhadap nilai viskositas biodiesel. Secara teoritis sesuai dengan asas *Le Chatelier* bahwa bertambahnya jumlah mol reaktan akan mendorong reaksi berlangsung ke arah pembentukan produk.

Semakin banyak methanol yang ditambahkan, maka akan menggeser kesetimbangan ke arah produk. Hal ini menyebabkan semakin banyak trigliserida yang dapat bereaksi dengan methanol membentuk biodiesel dan dapat menurunkan viskositas produk perolehan

Pengaruh jenis katalis terhadap viskositas

Penggunaan katalis basa akan menghasilkan laju reaksi yang lebih tinggi daripada katalis asam. Sedangkan katalis asam memerlukan kondisi suhu yang lebih tinggi dari katalis basa tetapi pembentukan sabun dengan asam bebas yang ada dapat dicegah (Fredman et al., 1984; Lotero. et al., 2005). Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis basa yaitu NaOH dan KOH. NaOH memiliki kereaktifan yang lebih besar dibandingkan dengan KOH, sehingga lebih besar perannya dalam hal menurunkan energi aktivasi dan laju reaksinya akan semakin cepat. Semakin banyak produk biodiesel yang terbentuk sehingga otomatis menurunkan nilai viskositas produk.

Pengaruh residence time terhadap viskositas

Berdasarkan hasil percobaan dapat dilihat bahwa pada waktu tinggal yang lebih lama nilai viskositas lebih rendah dibandingkan dengan pada run yang waktu tinggalnya lebih kecil. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu reaksi maka semakin besar kesempatan untuk bereaksi sehingga lebih banyak trigliserida yang dapat terkonversi menjadi biodiesel. Produk yang memiliki kadar

metil ester yang lebih banyak dan mengandung lebih sedikit trigliserida didalamnya akan memiliki nilai viskositas yang lebih rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada bulan Mei 2011 dapat diambil bahwa *Continuous Microwave Biodiesel Reactor* (CMBR) dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel. Viskositas biodiesel memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu berkisar antara 5 centistoke sampai 6 centistoke. Angka setana biodiesel memenuhi nilai Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu sebesar 71.3 dengan nilai standar SNI biodiesel adalah minimal 51 dan titik nyala biodiesel juga memenuhi nilai standar yaitu 165°C, dari persyaratan SNI biodiesel sebesar minimal 100°C.

DAFTAR PUSTAKA

1. Freedman, B, (1984), Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetables Oil, *Jurnal American Oil Chemist Society*,
2. Lertsathapornasuk, V, Pairintra, R, Ruangying, P, and Krisnangkura, K, (2006), Continuous Transesterification of Vegetable Oils by Microwave Irradiation, *University of Technology Thomburi*. Bangkok, Thailand,
3. Prakoso, Tirta, *Potensi Biodiesel Indonesia*. <http://www.google.com>. 25 Februari 2010,
4. Soerawidjaja, (2005), *Menggagas Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia*, *Prosiding Seminar Pelaksanaan Bisnis Industri Hilir Kelapa Sawit, Serpong*,
5. Widodo, C,S, M, Nurhuda, Aslama A, Hexa A, dan S, Rahman, (2007),” Studi Penggunaan Microwave pada Proses Transesterifikasi Secara Kontinyu Untuk Menghasilkan Biodiesel”, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 9, No.2, Oktober, 54-5

Influences of Thickness and Concentration of Sulphur Powder on Surface Briquette Made of Woody Biomass to Ignition Behavior

Nia Kurniati, Melina Sari, Azhar

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering University of Lampung
Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro, Gedung L Fakultas Teknik Bandar Lampung 35145
Telp. (0721) 701609 ext 222
E-mail: niakurniati755@yahoo.com

Abstract

Combustion process is one of the problem of briquette application. To overcome this problem, sulphur will be added to briquettes. The aim of this research is to determine effect of sulphur thickness and concentration on surface briquettes to ignition behavior. This study used the woody biomass and adhesive material, and also sulphur which was added on the surface of the briquette. The thickness and the concentration of sulphur were varied 0, 1, 2 and 3 mm, and 60, 70 and 80%. The results are briquettes with diameter 5 cm, height 5,1 cm and the best briquette with layer thickness and concentration 2 mm and 80%, with ignition behavior time is 1 minute 5 seconds.

Keywords: woody biomass, sulphur, briquettes, ignition behavior.

Pendahuluan

Pemerintah mendorong penggunaan energi alternatif melalui Undang-Undang no 30 tahun 2007 yang berisi bahwa cadangan sumber daya energi tak terbarukan terbatas, maka perlu adanya kegiatan penganekaragaman sumber daya energi alternatif agar ketersediaan energi terjamin, dan diperkuat dengan Peraturan Pemerintah RI no 70 tahun 2009 tentang konservasi energi yang merupakan upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Hal ini didukung pula dengan tersedianya biomassa yang melimpah di Indonesia. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya dalam pemanfaatan biomassa menjadi energi alternatif.

Energi alternatif merupakan pengganti energi utama yang relatif murah, ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Sumber energi alternatif ada berbagai macam antara lain biofuel, biogas, dan biobriket serta bentuk-bentuk energi alternatif yang lain (Lubis, 2008).

Diantara sumber-sumber energi alternatif tersebut, energi biomassa merupakan sumber energi alternatif yang perlu mendapat prioritas dalam pengembangannya. Namun biomassa memiliki bentuk yang beragam sehingga menyulitkan penggunaan, penyimpanan, dan pembakaran. Untuk mengatasinya, biomassa tersebut akan diolah dengan cara pembriketan. Proses pembuatan briket menghasilkan energi yang relatif murah dan sederhana (Syafriani, 2011).

Selama ini briket lebih sulit terbakar dibandingkan dengan bahan bakar cair misalnya minyak tanah, yang disebabkan oleh beberapa

penghambat pembakaran. Penghambat pembakaran tersebut meliputi kelembaban briket, kurangnya konsentrasi oksigen dalam briket dan besarnya *energi aktivasi* yang dibutuhkan saat awal pembakaran briket, selain itu *ignition temperature* karbon cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk menghasilkan briket yang mudah terbakar yaitu menambahkan briket dengan belerang yang memiliki *ignition temperature* lebih rendah dari karbon.

Penelitian ini akan dilakukan pembuatan briket dengan memanfaatkan arang kayu. Perbandingan komposisi antara arang kayu dan perekat yaitu 1:2 dari berat total briket 120 gram dengan ukuran partikel arang kayu 30 mesh. Pada percobaan I, belerang ditambahkan ke permukaan briket dengan variasi ketebalan lapisan 0, 1, 2 dan 3 mm. Hasil terbaik dari rancangan percobaan tersebut digunakan sebagai variabel tetap untuk rancangan percobaan II dengan memvariasikan belerang dan karbon di permukaan briket. Belerang divariasikan dengan konsentrasi 60%, 70% dan 80% dari berat total lapisan belerang. Pengujian briket dilakukan menggunakan kompor listrik 30 watt dengan parameter lamanya waktu awal pembakaran briket.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu, arang kayu, tepung kanji (aci) dan belerang. Adapun alat-alat yang digunakan yaitu, alat tumbuk, ayakan, timbangan digital, wadah/baskon, drying oven, pengaduk, alat pencetak dan pengepres briket, stopwatch, kompor listrik dan kawat kasa.

Pembuatan briket meliputi pengumpulan bahan baku, kemudian arang kayu dihaluskan dengan cara ditumbuk hingga berbentuk tepung. Hal ini untuk mendapatkan partikel arang yang lebih kecil sehingga kerapatan briket semakin besar. Arang kayu yang telah halus diayak menggunakan ayakan untuk menyeragamkan ukuran. Selanjutnya arang hasil pengayakan ditimbang dengan timbangan digital, sesuai dengan berat yang telah ditetapkan yaitu 40 gram. Lalu arang ditambahkan perekat dengan perbandingan 1:2 kemudian diaduk rata sampai homogen. Partikel arang kayu dan perekat yang telah tercampur rata dimasukkan ke dalam cetakan kemudian ditekan (*compression*) dengan alat pengepres briket yang bebannya sebesar 10 ton. Selanjutnya bahan yang telah dicetak didiamkan selama 15 menit pada alat cetakan. Setelah itu bahan kemudian dikeluarkan dari cetakan untuk selanjutnya ditambahkan belerang. Penambahan lapisan belerang dengan variasi ketebalan lapisan belerang 1, 2 dan 3 mm, selanjutnya hasil terbaik dari ketebalan lapisan belerang digunakan sebagai variabel tetap pada variasi konsentrasi belerang yaitu 60, 70 dan 80% dari berat campuran belerang dan karbon.

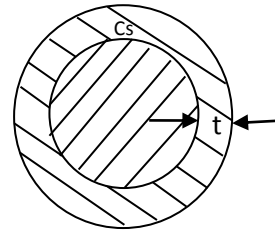
Cetakan lapisan belerang dibuat dengan menggunakan kertas HVS 80 gram. Mengukur ketebalan kertas menggunakan jangka sorong. Ketebalan belerang 1 mm menggunakan kertas sebanyak 3 lembar, untuk ketebalan belerang 2 mm menggunakan 6 lembar kertas, sedangkan untuk ketebalan belerang 3 mm menggunakan 12 lembar kertas. Selimut briket dibuat dengan cara, kertas dilubangi dengan panjang 12,7 cm dan lebar 5,1 cm. Selanjutnya setiap lembar direkatkan menggunakan lem dan bagian alas menggunakan kertas yang tidak dilubangi tengahnya. Sedangkan untuk bagian atas dan alas briket, kertas dilubangi dengan diameter lubang 5 cm. selanjutnya setiap lembar direkatkan menggunakan lem dan bagian alas menggunakan kertas yang tidak dilubangi.

Briket yang telah dicetak dan ditambahkan belerang kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu 70°C selama 5 jam. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar air dalam briket. Pengujian briket dilakukan menggunakan kompor listrik 30 watt yang dilapisi kawat kasa dengan parameter lamanya waktu awal pembakaran briket.

Hasil dan Pembahasan

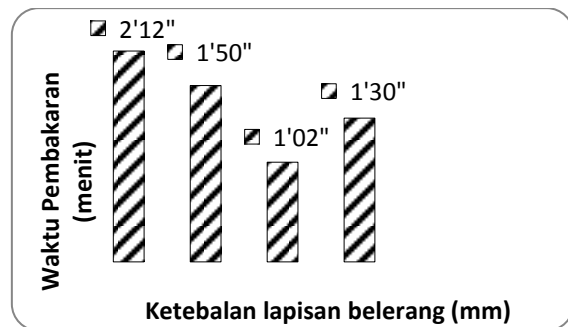
Hasil penelitian diperoleh briket dengan tinggi 5,1 cm dan diameter briket 5 cm. Belerang merupakan zat yang mudah terbakar dan dapat menyuplai panas, sehingga mempermudah pembakaran briket. Pada percobaan I variabel yang digunakan berupa ketebalan belerang pada permukaan briket yaitu 0, 1, 2 dan 3 mm dengan konsentrasi belerang 100%. Hasil terbaik dari percobaan I digunakan sebagai variabel tetap pada percobaan II. Pada percobaan II, variasinya yaitu

konsentrasi belerang sebesar 60, 70 dan 80 % dari berat total campuran antara arang kayu dan belerang.



Gambar 1. Briket tampak dari atas, (t) tebal lapisan belerang, (Cs) konsentrasi sulfur

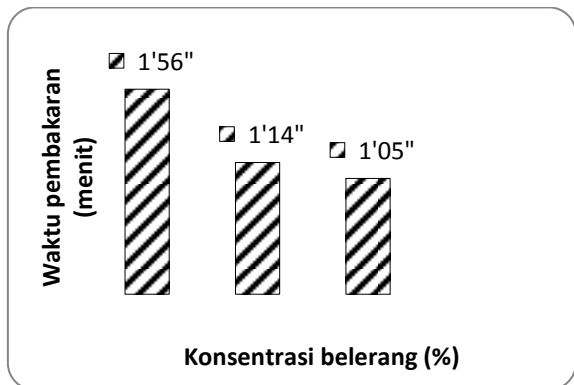
Berdasarkan hasil uji ketertudahan pembakaran briket diperoleh grafik yang menerangkan hubungan ketebalan belerang terhadap waktu ketertudahan pembakaran briket.



Gambar 2. Grafik hubungan antara ketebalan lapisan belerang dengan waktu ketertudahan pembakaran

Hasil pengujian pada briket run 1 (yang tidak dilapisi belerang) memiliki waktu ketertudahan pembakaran yaitu 2 menit 12 detik. Sedangkan pada run 2, briket dengan ketebalan lapisan belerang 1 mm didapat waktu ketertudahan pembakaran yaitu 1 menit 50 detik. Pada run 3, briket dengan ketebalan lapisan belerang 2 mm didapat waktu ketertudahan pembakaran yaitu 1 menit 2 detik. Dan pada run 4, briket dengan ketebalan lapisan belerang 3 mm didapat waktu ketertudahan pembakaran yaitu 1 menit 30 detik. Dari keseluruhan run tersebut, diperoleh kondisi optimum yaitu pada ketebalan lapisan belerang 2 mm dengan waktu ketertudahan pembakaran 1 menit 2 detik. Hal ini dikarenakan saat lapisan belerang habis terbakar dengan waktu yang bersamaan briket mulai terbakar. Semakin tebal lapisan belerang maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan belerang, sedangkan semakin tipis lapisan belerang maka semakin sedikit panas yang disuplai oleh belerang. Dari sifat itu dapat disimpulkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan belerang dan panas yang disuplai harus cukup untuk membakar briket, sehingga briket mudah terbakar.

Dari data di atas dapat dilihat semakin tebal lapisan belerang maka briket semakin mudah terbakar namun pada run ke 4 menunjukkan briket lebih sulit terbakar. Hal ini dikarenakan proses pembakaran terjadi pada permukaan, dengan luas permukaan yang sama tetapi lapisan belerang semakin tebal maka bara api akan semakin lama membakar habis belerang setelah itu barulah bara api membakar permukaan briket. Hal ini yang mengakibatkan briket pada run 4 lebih sulit terbakar. Hasil terbaik percobaan I dipakai sebagai variabel tetap pada percobaan II.



Gambar 3. Grafik hubungan antara konsentrasi belerang dengan waktu ketermudahan pembakaran

Pada run 1, briket dengan konsentrasi belerang 60% didapat waktu ketermudahan pembakaran yaitu 1 menit 56 detik. Sedangkan pada run 2, briket dengan konsentrasi belerang 70% didapat waktu ketermudahan pembakaran yaitu 1 menit 14 detik. Dan pada run 3, briket dengan konsentrasi 80% didapat waktu ketermudahan pembakaran yaitu 1 menit 5 detik. Dari keseluruhan run tersebut didapat waktu pembakaran optimum dengan konsentrasi belerang 80%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan lapisan belerang 100% dengan lapisan belerang 80% tidak jauh berbeda, sehingga dapat mengurangi penggunaan belerang pada lapisan briket dan dapat memperkecil biaya pembuatan briket yang mudah terbakar. Dari percobaan II didapat briket yang lebih mudah terbakar dengan ketebalan lapisan 2 mm dan konsentrasi belerang sebesar 80%. Namun pada penelitian ini lapisan briket mudah rontok, dikarenakan saat penempelan

belerang tidak ditambahkan perekat. Sehingga briket harus dikemas dengan baik, agar lapisan belerang pada briket tidak mudah rontok.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, kesimpulan yang di dapat yaitu, Belerang dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk mempermudah pembakaran briket. Pada percobaan I, didapat waktu ketermudahan optimum pada ketebalan lapisan belerang 2 mm yaitu 1 menit 2 detik. Proses pembakaran terjadi pada permukaan, dengan luas permukaan yang sama tetapi lapisan belerang semakin tebal, maka bara api akan membakar habis belerang terlebih dahulu, setelah itu briket mulai terbakar. Hal ini yang menyebabkan briket pada run 4 lebih sulit terbakar. Pada percobaan II, didapat hasil terbaik dengan ketebalan briket 2 mm dan konsentrasi belerang sebesar 80 % yaitu 1 menit 5 detik. Waktu ketermudahan pembakaran dengan konsentrasi belerang 80% tidak jauh berbeda dengan menggunakan lapisan belerang 100%, sehingga dapat mengurangi penggunaan belerang pada lapisan briket.

Daftar Pustaka

- Envis, 2006, "Environment Related Activities With Special Reference To Solid Waste Management, Environmental Information System Vol. 2 No. 1", pp 1-13, India.
- Lubis, Khairati., 2008, "Transformasi Mikropori ke Mesopori Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kalor Bakar Briket Arang Cangkang Kelapa Sawit", Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Mahajoeno, Edwi., 2005, "Potensi Limbah Biomassa Sawit sebagai Sumber Energi Terbarukan", at: www.ipardboo.indo.net.id, diakses 1 Maret 2011.
- Syafriani, Fajar Ayu., 2011, "Perancangan Bahan Bakar Padat dari Limbah Industri Gula Tebu", Universitas Lampung, Lampung.
<http://docs.google.com/undang-undangno30tahun2007>, diakses 12 Mei 2011
<http://docs.google.com/peraturan-pemerintahno70tahun2009>, diakses 12 Mei 2011

Pemanfaatan Serbuk Besi dari Sisa Hasil Proses Permesinan Untuk Meningkatkan Sifat Mekanik Pada Aluminium Yang DiCor Ulang (*Al Remelting*)

Zulhanif

Jl. SoemantriBrojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145
Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947
hanif@unila.ac.id

Abstrak

Aluminium merupakan salah satu bahan logam Non-Ferroyang banyak dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan kehidupan manusia, Pemanfaatan Aluminium yang dicor ulang (remelting) juga banyak dipakai baik sebagai keperluan umum seperti untuk alat perabotan rumah tangga, etalase, kabel-kabel, plat kendaraan ataupun keperluan khusus yang membutuhkan kekuatan mekanik yang tinggi yaitu kekerasan dan ketahanan panas yang baik. Untuk meningkatkan sifat mekanik dari bahan Aluminium yang dicor ulang maka diperlukan bahan penguat seperti serbuk besi. Serbuk besi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sisa hasil proses permesinan seperti proses grinding, boring, dll. Serbuk besi dicampurkan secara merata pada saat Aluminium dicor dan diaduk sehingga partikel-partikel serbuk besi tersebar secara merata pada Aluminium coran tersebut. Banyaknya jumlah serbuk besi yang dicampurkan pada Aluminium cor divariasikan berdasarkan perbandingan fraksi massa dengan jumlah berat aluminium coran. Dari hasil penelitian menunjukkan penambahan jumlah serbuk besi pada aluminium yang dicor ulang dapat meningkatkan sifat mekanik coran aluminium sehingga membentuk material komposit berjenis MMC (Metal matrix Composite). Penambahan serbuk besi (Fe) : 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % pada aluminium diperoleh nilai kekerasan tertinggi rata-rata pada penambahan serbuk besi (Fe) sebesar 112,5 VHN meningkat 70,5 % dibandingkan dengan tanpa penambahan serbuk besi. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi didapat pada penambahan serbuk besi 10 % yaitu sebesar 111,67 MPa, meningkat 76,4 % dibandingkan tanpa penambahan serbuk besi.

Kata Kunci : Aluminium coran, serbuk besi (Fe), nilai kekerasan, kekuatan tarik.

Komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat dan bahan pendukung sebagai bahan penguat. Bahan penguat dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau dapat berupa cairan (Surdia, 1992).

Upaya untuk meningkatkan sifat-sifat kekuatan mekanik dari material logam diantaranya adalah dengan memberikan paduan yang memiliki kekuatan untuk meningkatkan kekuatan mekanik kedalam matrik logam sehingga membentuk komposit bermatrik logam (metal matriks composite).

Unsur yang umumnya dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari aluminium adalah Cu, Mn, Si, Mg, Zn, Fedan lain-lain. Pemanfaatan serbuk besi yang digunakan adalah serbuk baja karbon rendah yang tersebar secara acak dan merata pada matriks aluminium sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik Al yang dicorulang (remelting)

Teori Dasar

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan relative rendah dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur

dengan logam lain sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan konstruksi, industri, danlainnya (surdia, 1992)

Aluminium Daur

Aluminium daur adalah aluminium yang dipadukan dengan logam lain yang memiliki keterikatan senyawa atom satu sama lain. Jumlah dan penyebaran partikel penguat komposit matriks logam sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanis dari komposit. Penambahan jumlah partikel yang tersebar belum tentu mampu meningkatkan kekerasan dari komposit, untuk itu perlu diketahui jumlah fraksi partikel yang tersebar secara optimal pada logam sehingga diperoleh kekerasan yang optimal. (Suryanto, 2005)

Corulang yang dilakukan pada aluminium dapat menyebabkan kekerasan meningkat dan ketangguhan menurun serta porositasnya bertambah. Porositas dalam kondisi tertentu akan memperbaiki karakteristik tribologi logam karena membentuk reservoir bagi pelumas dan memudahkan untuk bersikulasi sehingga menghasilkan pelumasan yang lebih baik. (HeruUryanto, 2005)

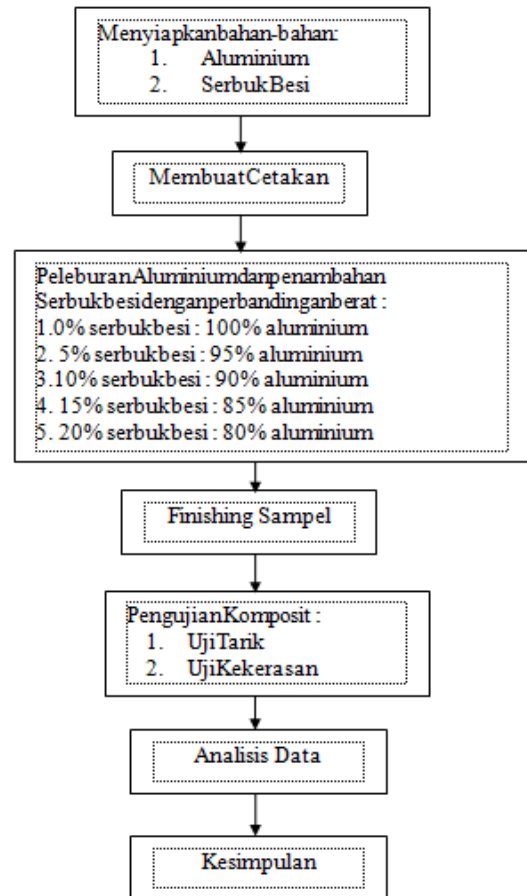
Komposit bermatrik Logam

Komposit matrik logam modern tidak dibatasi dengan diagram fasa. Logam leleh atau setengah padat dicampur serat atau partikel lain, kemudian cairan itu dituang ke dalam cetakan atau dapat dikatakan lelehan matrik yang kemudian mengeras di rongga-rongga antar serat menjadi komposit.

Metode Penelitian

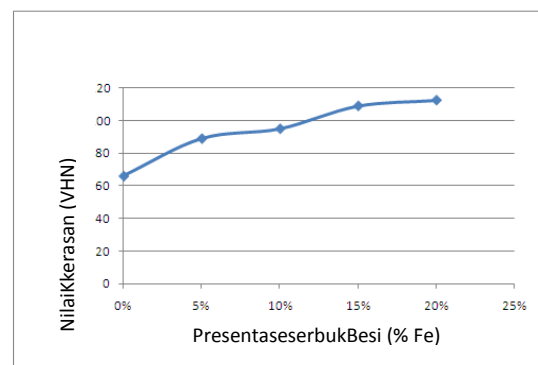
Prosedur penelitian

1. Pembuatan cetakan spesimen uji (cetakan pasir).
Cetakan pasir menggunakan rangka kayu, bahan pengikat pasir digunakan tanah lempung. Dan pola dibuat juga dari bahan kayu.
2. Pengecoran aluminium
Aluminium dilebur di dalam dapur Krusi bel tipe tiling.
3. Proses pencampuran serbuk besi dan aluminium coran.
Aluminium yang sudah lebur dan ditahan selama 10 menit kemudian diambil dengan menggunakan bucket dan memasukkan juga serbuk besi ke dalam bucket tersebut dengan perbandingan tertentu, kemudian diaduk secara merata setelah menuangkannya ke dalam cetakan.
4. Pengujian Mekanik Hasil Coran
Uji Mekanik yang dilakukan adalah uji kekuatan tarik dan uji kekerasan. Spesimen Uji kekerasan menggunakan spesimen standar ASTM D-785. Spesimen Uji Tarik menggunakan spesimen standar ASTM E-8.
Bagan Alur penelitian dapat dilihat sebagai berikut :



Hasil dan Pembahasan

Hasil uji kekerasan dengan *Vickers Hardness* dengan standar uji ASTM D-785 dengan 3 titik masing-masing specimen, dapat dilihat pada grafik berikut :



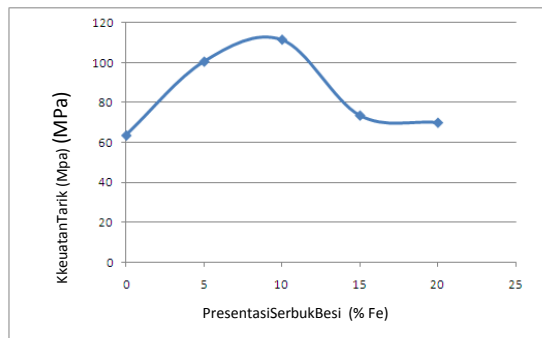
Grafik 1. Hasil Uji Kekerasan (VHN) VS

Presentasi Serbuk Besi (Fe)

Pada grafik menunjukkan adanya peningkatan kekerasan yang didapat dengan presentasi serbuk besi (Fe) yang berbeda. Nilai kekerasan yang didapat terus mengalami kenaikan yang dimulai dari aluminium tanpa campuran sampai dengan presentasi penambahan serbuk besi sampai 20%. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada presentasi

campuran serbuk besi (*Fe*) sebesar 20 % yaitu sebesar 112,5 VHN, sedangkan aluminium yang dicor ulang nilai kekerasan sebesar 66 VHN. Naiknya nilai kekerasan ini disebabkan karena jumlah partikel serbuk besi sebesar 20 % tersebar merata dan menyatu pada aluminium tersebut, sehingga meningkatkan nilai kekerasan dari material aluminium yang dicorulang.

Grafik Hasil Uji tarik berdasarkan penarikan material dengan standar ASTM E-8 dapat dilihat berikut :



Grafik 2. Hasil Uji Tarik (Mpa) VS Presentasi Serbuk Besi (*Fe*)

Pada grafik terlihat Nilai Uji tarik tertinggi di dapat pada penambahan serbuk besi 10 %. Berbeda pada uji kekerasan karena nilai kekuatan tarik tidak berbanding lurus dengan penambahan serbuk besi sebaran serbuk besi. Pada penambahan serbuk besi sebesar 10 % serbuk besi merupakan nilai tertinggi pada Uji tarik.

Hal ini disebabkan pada penambahan serbuk besi partikel menyebar dengan baik, tetapi dengan penambahan serbuk besi lebih tinggi tidak menjadikan kekuatan tarik lebih tinggi karena pada penambahan lebih 10 % akan menimbulkan tumpukan partikel terutama pada bagian kulit material sehingga nilai kekerasan pada bagian kulit material meningkat jika semakin banyak serbuk besi (*Fe*).

Pada penambahan serbuk besi sebesar 10 % merupakan nilai kekuatan tarik tertinggi terutama dibandingkan aluminium cor tanpa penambahan serbuk besi yaitu sebesar 63,3 Mpa.

Kecendrungan penambahan serbuk pada hasil uji mekanik berbeda antara hasil uji kekerasan dengan uji tarik, pada hasil uji kekerasan nilai maksimum terjadi pada penambahan serbuk besi sebesar 20 % sedangkan pada hasil uji tarik nilai maksimum terjadi pada penambahan serbuk besi sebesar 10 %.

Perbedaan nilai maksimum ini dikarenakan pada uji kekerasan dilakukan pada permukaan material yang menggunakan uji makro Vickers terdapat banyak

serbuk besi pada bagian permukaan material tersebut sehingga semakin banyak serbuk besi pada bagian permukaan material akan semakin besar nilai kekerasan yang dihasilkan.

Sedangkan pada uji tarik sebenarnya berbanding lurus dengan uji kekerasan tetapi pada penambahan semakin banyak serbuk besi akan memungkinkan semakin banyak rongga yang dihasilkan pada material komposit, kegagalan material pada uji tarik terjadi pada bagian terlemah pada permukaan material terutama pada bagian yang berongga.

Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap pembuatan dan pengujian komposit aluminium dan serbuk besi (*Fe*), ada beberapa kesimpulannya itu sebagai berikut :

1. Nilai uji kekerasan tertinggi terjadi pada penambahan serbuk besi (*Fe*) 20 % yaitu sebesar 115 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada konsentrasi 0 % serbuk besi yaitu sebesar 64 VHN, terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 70,5 %.
2. Kekuatan tarik (Tensile Strength) tertinggi yaitu pada konsentrasi 10 % serbuk besi (*Fe*) sebesar 116 MPa, sedangkan tanpa penambahan serbuk besi (Raw material) memiliki kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 70 MPa, terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 76,4 %.
3. Serbuk Besi yang ditambahkan pada aluminium cor ulang (*remelting*) banyak mengendap pada permukaan material, hal ini terbukti pada hasil uji kekerasan karena semakin banyak serbuk besi yang ditambahkan semakin tinggi harga kekerasan material komposit yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badaruddin, Mohammad. 2001. "Modul praktikum pengujian logam dan non logam" .laboratorium material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung.
2. Davis, Troxell dan Hauck, 1998, *The Testing of Engineering Materials*. Edisi 4. McGraw Hill. New York.
3. Dieter, George E (Alih bahasa: Ir. Sriati Djafri, M.E., M.Met). 1996. *Metalurgi Mekanik* Edisi ketiga. Erlangga, Jakarta.
4. Dowling, E. Norman, 1996. *Mechanical Behavior Of materials*. 2nd edition. Printed in

the United State of Amerika.

5. Groover. Mickell P, 1996, *Fundamental of Modern manufacturing Material process and System*. Prentice-hall Inc. USA.
6. Harahap, G. 1996, Perencanaan teknik Mesin, Edisi 4, Erlangga, Jakarta.
7. Haroen, 1984, Teknologi untuk Bangunan Mesin. Jilid 1. Erlangga, Jakarta.
8. [Http://eformulae.com/engineering/tensile.php](http://eformulae.com/engineering/tensile.php)
(Diakses 16 November 2011 pakul 15.00 WIB)
9. Surdia, Tata, Chijiwa, Kenji, 1996, “Teknik pengecoran Logam” cetakan ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
10. Surdia, Tata, 1999, “ Pengetahuan Bahan Teknik”.PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Rancang Bangun *Secondary Cabin Roof* untuk Membantu Meringankan Kerja AC Mobil

Ahmad Su'udi, A. Yudi Eka Risano

Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1 Rajabasa Bandar Lampung 35145

Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947.

E-mail: suudi@unila.ac.id

Abstract

The use of air-conditioning (AC) on the car aims to provide comfort to passengers when driving in hot weather. Problems sometimes arise when the car just bronzed sun when parked in the open air, sometimes even making use of air conditioning in the car cabin air was getting warmer, or air conditioner must work harder to make the air inside the cabin is comfortable. The study was conducted to design and create a secondary cabin roof (SCR) to help ease the work ac car. The study was conducted by making SCR using the same materials with the roof of the car cabin materials with the same dimensions as well. SCR is placed on the roof of a car cabin with a given buffer rubber at all four corners. Data were taken before and after using SCR by using a digital thermometer. The result shows the SCR can reduce the temperature inside the car cabin 2 to 9 degrees Celsius compared to before using SCR. This suggests that the SCR can help the car air conditioner work more easily..

Keywords: air conditioner, SCR, temperature, comfort .

Pada era modern ini, banyak aktifitas sehari-hari manusia dibantu atau menggunakan teknologi. Teknologi diciptakan untuk menghasilkan suatu barang atau produk untuk mempermudah kerja dan aktifitas manusia. Dibidang transportasi dibuat berbagai jenis kendaraan mulai dari yang paling sederhana, misalkan sepeda, sampai ke moda transportasi yang canggih seperti pesawat terbang. Salah satu moda transportasi massal yang banyak digunakan manusia untuk mempermudah aktifitasnya adalah kendaraan jenis mobil. Desain mobil baik eksterior maupun interior dibuat untuk memenuhi tingkat estetika dan kenyamanan bagi penggunaanya. Salah satu cara untuk mendukung kenyamanan saat mengendarai mobil dalam perjalanan adalah dengan menggunakan AC (*Air Conditioner*). Mengendarai mobil ketika cuaca panas akan sangat tidak nyaman ketika pada mobil tersebut tidak ada AC mobilnya, apalagi berkendara di dalam kota dengan lalu lintas yang ramai dan bahkan sering terjadi kemacetan. Hal yang berbeda akan terasa ketika ada AC pada mobil. Adanya AC pada mobil akan memberikan rasa nyaman berkendara walaupun cuaca panas sekalipun.

Kenyamanan berkendara yang dilengkapi dengan penyejuk ruang (AC) akan didapat jika AC mobil tersebut dapat bekerja secara normal. Permasalahan muncul ketika berkendara di cuaca panas tetap tidak mendapatkan rasa nyaman yang diinginkan, padahal mobil sudah dilengkapi dengan AC. Banyak faktor yang dapat menyebabkan hal di atas, salah satunya adalah temperatur di dalam kabin mobil yang terlalu panas. Bila semakin panas sebuah kabin, maka

temperatur AC mobil pun akan ditingkatkan. Dampak kelebihan panas ini akan memiliki efek pada mesin, terlebih jika tidak terawat dengan baik (Risha, 2012). Suhu dalam kabin yang terjemur bisa mencapai 400⁰ C, bahkan lebih, hal ini bisa mengganggu kesehatan manusia, dapat membuat kaca mobil pecah (Nawita, 2011). Dalam sebuah tes yang dilakukan di Amerika, suhu di kabin mobil bisa sangat meningkat tajam dan akan menjadi seperti sebuah oven. Sebagai contoh, bila suhu di luar mobil mencapai 29 derajat saja, maka suhu di dalam mobil bisa mencapai 44 derajat dalam waktu hanya 10 menit dan dapat meningkat menjadi 60 derajat tidak lama setelah itu. Meninggalkan seorang anak di dalam mobil untuk waktu yang lama dapat berbahaya. Anak dapat meninggal di dalam mobil yang panas (Akib, 2011).

Tingginya temperatur di dalam kabin mobil bisa disebabkan karena mobil terpapar panas dari matahari dalam waktu yang lama ketika parkir di tempat terbuka. Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, maka dalam penelitian ini dilakukan usaha untuk meringankan kerja AC Mobil melalui modifikasi desain mobil dengan menambahkan atap sekunder pada atap kabin mobil (*Secondary Cabin Roof, SCR*).

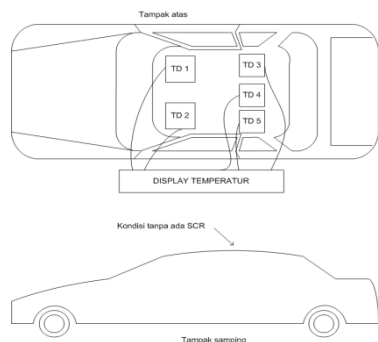
METODOLOGI

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

- Termometer Digital 5 buah

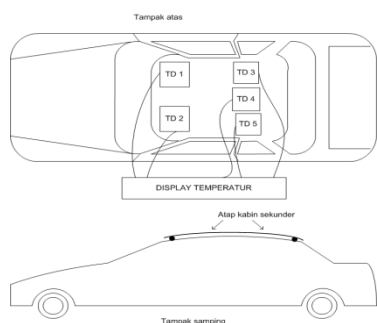
- Stopwatch 1 buah
- 1 unit mobil sedan Honda Accord 2004
- 1 set SCR

Skema pemasangan alatnya dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini. Pada Gambar 1 ditunjukkan skema pemasangan alat pengujian pada mobil sebelum dipasang unit SCR.



Gambar 1. Skema pemasangan alat pengujian sebelum dipasang unit SCR

sedang Gambar 2 menunjukkan pemasangan alat uji dan unit SCR pada mobil.



Gambar Skema

2. pemasangan alat pengujian sebelum dipasang unit SCR

Keterangan :

- TD 1 : Termometer Digital 1, posisi pada kursi pengemudi
- TD 2 : T. Digital 2, posisi kursi depan samping pengemudi
- TD 3 : Termometer Digital 3, posisi pada kursi belakang di kanan
- TD 4 : Termometer Digital 4, posisi kursi belakang di tengah
- TD 5 : Termometer Digital 5, posisi pada kursi belakang di kiri

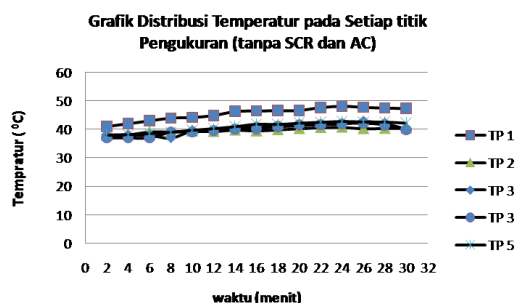
Metode yang digunakan berupa pengujian dilapangan dengan segala sesuatunya seperti kecepatan angin, kelembaban, temperatur lingkungan sesuai dengan kondisi alam. Adapun langkah-langkah pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Mobil sebelum dipasang SCR diparkir pada ruang terbuka pada cuaca cerah dibawah terik matahari (sekitar pukul 10.30 – 11.30 wib) atau selama ± 1 jam.
2. Setelah satu jam, ukur temperatur lingkungan.
3. Hidupkan termometer digital pada tiap-tiap titik pengukuran secara bersamaan.
4. Catat nilai temperature yang terukur setiap 2 menit selama 30 menit.
5. Hidupkan mesin mobil dan ac dihidupkan pada setelan temperature low (cukup dingin).
6. Catat data yang terukur oleh termometer digital pada tiap-tiap titik pengukuran setiap 2 menit selama 30 menit.
7. Pasang SCR pada mobil (margin 5 cm), lakukan prosedur seperti langkah 1 – 6 pada keesokan harinya pada kondisi cuaca serupa dan pada waktu yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Distribusi Temperatur di dalam Kabin tanpa SCR dan AC Mobil *Off*

Nilai rata – rata temperatur yang terjadi pada titik pengukuran 1 (TP 1), titik pengukuran 2 (TP 2), TP 3, TP 4 dan TP 5 berturut-turut adalah $45,6^{\circ}$ C, $39,6^{\circ}$ C, $39,3^{\circ}$ C, $38,8^{\circ}$ C, dan 38° C. Temperatur terbesar $48,2^{\circ}$ C terjadi pada titik pengukuran 1 dan temperatur terkecil 37° C terjadi pada TP 3 dan TP 4. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: dengan posisi matahari ketika diambil data pengujian berada pada kanan atas dari sisi kemudi, maka otomatis titik pengukuran 1 adalah sebagai titik dengan paparan sinar matahari paling banyak yang akibatnya temperatur terbesar terjadi pada TP 1 ini. Total rata – rata temperatur yang terjadi di dalam kabin yaitu sebesar $41,2^{\circ}$ C sedangkan temperatur lingkungannya 35° C. . Tren distribusi temperatur pada setiap titik pengukuran dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 3 berikut ini.



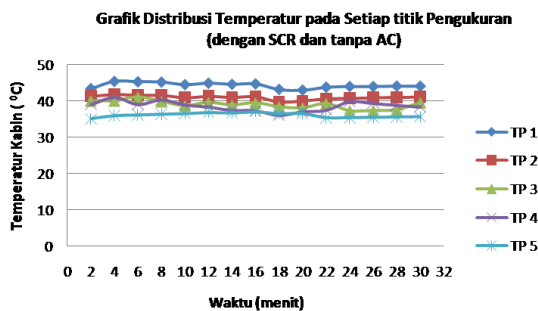
Gambar 3. Grafik Distribusi Temperatur dalam Kabin tanpa SCR dan AC Mobil *Off*

Dari grafik pada Gambar 3 terlihat

kecenderungan kenaikan temperatur pada semua titik pengukuran dengan bertambahnya waktu. Gambar 3 juga memperlihatkan titik pengukuran 1 memiliki distribusi temperatur lebih besar bila dibandingkan keempat titik pengukuran lainnya, hal ini sekali lagi menunjukkan kalau titik pengukuran 1 mempunyai intensitas paparan sinar matahari lebih besar.

Analisis Distribusi Temperatur di dalam Kabin dengan SCR dan AC Mobil Off

Nilai rata – rata temperatur yang terjadi pada titik pengukuran 1 (TP 1), titik pengukuran 2 (TP 2), TP 3, TP 4 dan TP 5 berturut-turut adalah 44,2⁰ C, 40,9⁰ C, 38,9⁰ C, 38,5⁰ C, dan 36⁰ C. Temperatur terbesar 45,3⁰ C terjadi pada titik pengukuran 1 dan temperatur terkecil 36⁰ C terjadi pada TP 4. Total rata – rata temperatur yang terjadi di dalam kabin yaitu sebesar 39,7⁰ C sedangkan temperatur lingkungannya 38⁰ C. . Tren distribusi temperatur pada setiap titik pengukuran dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Grafik Distribusi Temperatur dalam Kabin dengan SCR dan AC Mobil Off

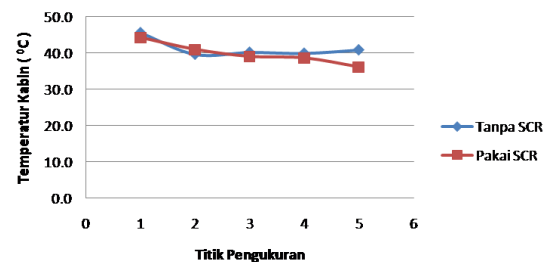
Dari grafik pada Gambar 4 terlihat kecenderungan distribusi temperatur pada semua titik pengukuran stabil dengan bertambahnya waktu. Gambar 4 juga memperlihatkan titik pengukuran 1 memiliki distribusi temperatur lebih besar bila dibandingkan keempat titik pengukuran lainnya, hal ini sekali lagi menunjukkan kalau titik pengukuran 1 mempunyai intensitas paparan sinar matahari lebih besar.

Analisis Efek Pemakaian SCR pada Kondisi AC Mobil Off

Jika data – data hasil pengujian sebelum dan setelah dipasang SCR dibandingkan, maka dapat dijelaskan sebelum dipasang SCR temperatur maksimal yang terjadi di dalam kabin sebesar 45,6⁰ C dengan suhu lingkungan 35⁰ C, atau terdapat perbedaan sebesar 10,6⁰ C setelah mobil dijemur selama 1 jam. Sedangkan setelah dipasang SCR, temperatur maksimal yang terjadi di dalam kabin sebesar 44,2⁰ C dengan temperatur lingkungan 38⁰ C, atau terdapat perbedaan sebesar 6,2⁰ C.

Perbedaan ini tentunya lebih kecil bila dibandingkan dengan kondisi sebelum dipasang SCR yaitu terdapat selisih sebesar 4,4⁰ C. Kemudian rata-rata temperatur yang terjadi di dalam kabin sebelum dan setelah dipasang SCR berturut-turut adalah 41,2⁰ C dan 39,7⁰ C atau terjadi penurunan sebesar 1,5⁰ C. Gambar 5 menunjukkan perbandingan distribusi temperatur pada tiap titik pengukuran sebelum dan setelah memakai SCR. Dari Gambar 5 terlihat rata – rata terjadi penurunan temperatur di dalam kabin mobil untuk setiap titik pengukuran, atau dengan kata lain terjadi kecenderungan penurunan temperatur setelah dipakainya SCR. Hal ini tentunya sejalan dengan logika berpikir, sebelum dipasang SCR panas dari sinar matahari langsung mengenai atap kabin mobil dan panas masuk ke dalam kabin dengan cara konduksi. Dengan dipasangnya SCR, maka sinar matahari menjadi terhalang dan tidak terjadi perambatan panas konduksi secara langsung pada atap utama kabin.

Grafik Distribusi Temperatur pada Tiap Titik Pengukuran (AC mobil off)



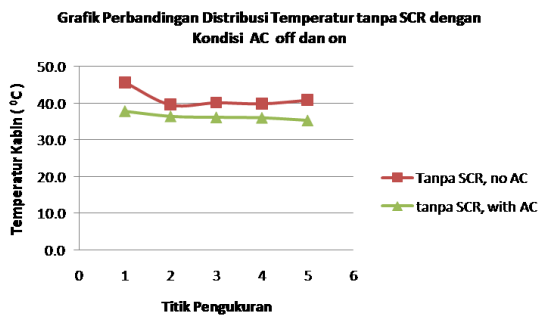
Gambar 5. Grafik Distribusi Temperatur pada Tiap Titik Pengukuran (AC Mobil Off)

Dari Gambar 5 terlihat rata – rata terjadi penurunan temperatur di dalam kabin mobil untuk tiap titik pengukuran, atau dengan kata lain terjadi kecenderungan penurunan temperatur setelah dipakainya SCR. Hal ini tentunya sejalan dengan logika berpikir, sebelum dipasang SCR panas dari sinar matahari langsung mengenai atap kabin mobil dan panas masuk ke dalam kabin dengan cara konduksi. Dengan dipasangnya SCR, maka sinar matahari menjadi terhalang dan tidak terjadi perambatan panas konduksi secara langsung pada atap utama kabin.

Analisis Distribusi Temperatur di dalam Kabin tanpa SCR dengan AC Mobil On

Nilai rata – rata temperatur yang terjadi pada TP 1, TP 2, TP 3, TP 4 dan TP 5 berturut-turut adalah 37,9⁰ C, 36,5⁰ C, 36,2⁰ C, 36,1⁰ C, dan 35,3⁰ C. Temperatur terbesar 38,5⁰ C terjadi pada titik pengukuran 1 dan temperatur terkecil 34⁰ C terjadi pada TP 5. Total rata – rata temperatur yang terjadi di dalam kabin setelah mobil dipanaskan dengan cara dijemur di bawah terik matahari masih tinggi

yaitu sebesar $36,4^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur lingkungannya 35°C . Gambar 6 menunjukkan perbandingan distribusi temperatur di dalam kabin mobil tanpa SCR dengan ac mobil off dan on.

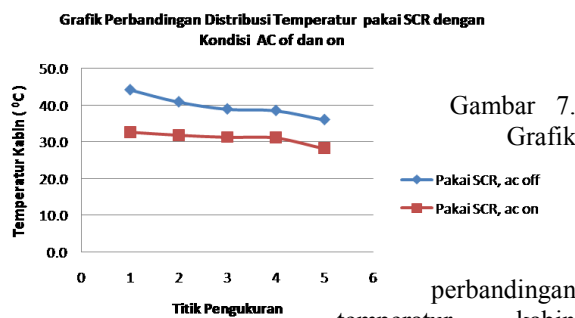


Gambar 6. Grafik Perbandingan Distribusi Suhu Kabin tanpa SCR - AC off dan on

Dari grafik pada Gambar 6 terlihat terjadi penurunan temperatur pada semua titik pengukuran setelah ac mobil dihidupkan dengan total rata – rata penurunannya sebesar $4,8^{\circ}\text{C}$. Namun bila diperhatikan data rata-rata suhu didalam kabin setelah 30 menit diperoleh sebesar $36,4^{\circ}\text{C}$ masih lebih tinggi dari pada temperatur lingkungan dan masih besar nilainya untuk mencapai temperatur nyaman yang berkisar 20°C sampai dengan 25°C . Hal ini akan memaksa pengemudi atau penumpang mobil memutar switch pada sistem ac mobil, hingga didapatkan temperatur yang nyaman, yang berakibat ac mobil akan bekerja lebih berat.

Analisis Distribusi Temperatur di dalam Kabin dengan SCR, AC Mobil On.

Nilai rata – rata temperatur yang terjadi pada TP 1, TP 2, TP 3, TP 4 dan TP 5 berturut-turut adalah $32,7^{\circ}\text{C}$, $31,8^{\circ}\text{C}$, $31,3^{\circ}\text{C}$, $31,1^{\circ}\text{C}$, dan $28,2^{\circ}\text{C}$. Temperatur terbesar $40,5^{\circ}\text{C}$ terjadi pada titik pengukuran 1 dan temperatur terkecil $23,6^{\circ}\text{C}$ terjadi pada TP 5. Total rata – rata temperatur yang terjadi di dalam kabin masih cukup tinggi yaitu sebesar 31°C tetapi lebih kecil dari temperatur lingkungannya 38°C . Gambar 7 menunjukkan perbandingan distribusi temperatur di dalam kabin mobil dengan SCR, ac mobil off dan on.

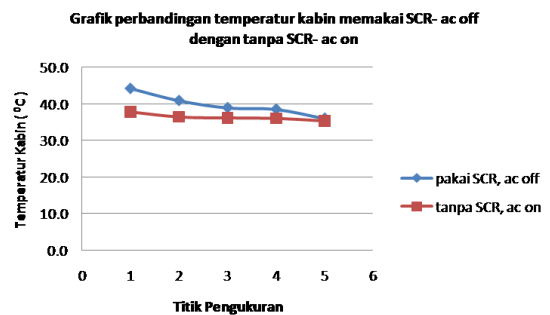


Gambar 7. Grafik perbandingan temperatur kabin mobil memakai SCR - ac off dan on

Dari grafik pada Gambar 7 terlihat dengan memakai SCR terjadi penurunan temperatur pada semua titik pengukuran setelah ac mobil dihidupkan

dengan total rata – rata penurunannya sebesar $8,7^{\circ}\text{C}$ atau hampir mencapai 9°C dalam waktu 30 menit. Penurunan temperatur ini jauh lebih besar (hampir mencapai dua kali lipat) bila dibandingkan pada kondisi tanpa SCR.

Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan temperatur di dalam kabin mobil, pada kondisi memakai SCR tetapi ac mobil off dan tanpa SCR tetapi ac mobil on. Dari grafik pada Gambar 8 terlihat perbedaan temperatur yang terjadi pada tiap titik pengukuran adalah kecil, rata – rata perbedaannya adalah $3,3^{\circ}\text{C}$ bahkan pada titik pengukuran 5 selisih temperaturnya hanya mencapai $0,7^{\circ}\text{C}$. Hal ini berarti hampir tidak ada bedanya antara menyalakan ac mobil (tanpa SCR) dengan tanpa memakai ac (pakai SCR).



Gambar 8. Grafik perbandingan temperatur kabin mobil memakai SCR - ac off dan tanpa SCR - ac on

Dengan penelitian lebih lanjut dan penyempurnaan disain SCR dapat dimungkinkan pemakaian SCR dapat menggantikan pemakaian ac mobil pada kondisi tertentu.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengolahan data hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan SCR mampu menurunkan temperatur di dalam kabin mobil dibandingkan sebelum memakai SCR yaitu sebesar $1,5^{\circ}\text{C}$ walaupun ac mobil tidak dinyalakan.
2. Penggunaan SCR mampu membuat perbedaan antara suhu di dalam kabin dengan suhu lingkungan menjadi kecil, yaitu sebesar $1,7^{\circ}\text{C}$ walaupun ac mobil tidak dinyalakan.
3. Pada kondisi ac mobil dinyalakan, SCR mampu dengan cepat menurunkan temperatur kabin jauh lebih kecil dari temperatur lingkungan dibandingkan dengan tanpa SCR.

Daftar Pustaka

Langley, Billy C., 2001, *Fine Tuning Air Conditioning and Refrigeration System.*, Marcel Dekker Inc.

- Toecker, W.F.S., 2002, *Refrigeration and Air Conditioning*, 2nd edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Akib, Syubhan, 2011, “Jangan Tinggalkan Anak Sendirian di Dalam Mobil “, available at: <http://oto.detik.com/read/2011/11/18/180637/1770602/1213>, diakses 12 Desember 2011
- Nawita, 2011, “Mobil terjemur bikin puyeng dan keracunan”, available at: <http://mobil.otomotifnet.com/read/>, diakses 21 Juli 2011
- Risha, A.G., & Choirunisa, Irna S., 2012, “10 Jurus menjaga Kesejukan Suhu Kabin Mobil”, available at: ww.duniacucimobil.blogspot.com/cee/, diakses 11 April 2012

PENENTUAN WAKTU OPTIMAL PENYERAPAN GAS CO₂ PADA BERBAGAI KONSENTRASI DAN SALINITAS MENGGUNAKAN *Nannochloropsis oculata* DALAM FOTOBIOREAKTOR

Subiyantoro, Elida Purba

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
e-mail : soebee_soebbee@yahoo.com

Abstract

*This paper concerns about global warming which focused on reducing CO₂ emission to the atmosfer. The experimental work was aimed to determine optimal time for CO₂ absorption as a function of the concentration of CO₂ input and the salinity of cultured medium. The concentration of CO₂ was varied 3,9, and 15 % in air, and salinity of 20,30, and 40 ppt. The light intensity was fixed at 4000 Lux. CO₂ – air mixture was fed into photobioreactor where it filled with 1 liter cultured *Nannochloropsis oculata*. The output CO₂ concentration was measured daily. The result show that the highest absorption is 63,76 % with 3 % CO₂ input and salinity of 30 ppt.*

Key word : global warming, absorption CO₂, salinity

.Pendahuluan

Gas CO₂ di atmosfer merupakan penyumbang utama penyebab pemanasan global (Schneider, 1989). Berdasarkan data *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) pada saat awal terjadi revolusi industri konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah 282,32 ppm, sedangkan pada tahun 2007 konsentrasinya meningkat menjadi 383,71 ppm, tahun 2008 sebesar 385,57 ppm dan Juni 2009 konsentrasinya mencapai 389,42 ppm (http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global)

Sejauh ini, berbagai upaya telah dilakukan oleh manusia untuk mengurangi dampak pemanasan global, seperti program penanaman hutan kembali (*reboisasi*), penghematan energi, penggunaan energi baru dan terbarukan, dan pemanfaatan berbagai teknologi *carbon capture and storage* (CCS). Selain itu peningkatan karbon dioksida dapat juga diatasi dengan aktifitas fotosintesis pada tumbuhan autotrof. Tak hanya tumbuhan makro, tumbuhan mikro seperti fitoplankton (alga) juga memiliki peranan penting dalam mengurangi kadar karbon dioksida di bumi. Apalagi tumbuhan mikro perairan ini mampu mengurangi CO₂ 200 kali lipat dari tumbuhan di daratan berdasarkan penelitian di *University of New Zealand* (Ikawati, 2007).

Alasan utama pemilihan mikroalga dalam hal ini, alga hijau sebagai biota yang dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mengurangi emisi CO₂ adalah karena meskipun jumlah biomassa hanya 0,05% biomassa tumbuhan darat namun jumlah karbon yang dapat digunakan dalam proses fotosintesis sama dengan jumlah C yang difiksasi oleh tumbuhan darat. (Bishop & Davis, 2000). Ditinjau secara biologi, alga adalah kelompok tumbuhan yang berklorofil yang terdiri dari satu sel atau banyak sel dan berbentuk koloni. Di dalam alga terkandung

bahan-bahan organik seperti polisakarida, hormon, lipid, vitamin, mineral, dan juga senyawa bioaktif

Menurut (Briggs, 2004), alga mengandung minyak lebih dari 50 % beratnya. Minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Mengingat besarnya manfaat alga dalam penyediaan energi yang terbarukan serta dengan mempertimbangkan dari hasil penelitian *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) IPB, maka dipilih dari golongan alga hijau yaitu *Nannochloropsis Oculata* yang mengandung minyak sebesar 68% sehingga berpotensi menghasilkan minyak alga yang baik untuk membuat biodiesel.

Tabel.1 Kandungan komponen dalam *Nannochloropsis oculata*

| Keterangan | Persentase kandungan (%) |
|--------------------------------|--------------------------|
| Dry Weight | 18.4 |
| Calories from 10 ml dry weight | 44.4 |
| Protein | 52.11 |
| Carbohydrate | 16 |
| Lipid (Total) | 16.7 |
| Vitamin C | 0.85 |
| Chlorophyl A | 0.89 |

(Sumber : <http://www.reed-mariculture.com/>; 2009)

Pada penelitian tentang Teknologi Penyerapan Karbondioksida dengan Kultur Fitoplankton pada Fotobioreaktor, memberikan hasil dan indikasi yang positif akan kemampuan fitoplankton dalam mereduksi kandungan CO₂ yang di injeksikan kedalam fotobioreaktor (Setiawan dkk, 2008). Penelitian lainnya seperti yang dilakukan (Ismi, 1996), diketahui pertumbuhan populasi *Nannochloropsis oculata* dapat dipengaruhi oleh suhu dan salinitas yang berbeda-beda, pada penelitian yang ia lakukan tidak menggunakan CO₂ murni dan dilakukan secara *batch*. Sedangkan penelitian mengenai pereduksian gas CO₂ menggunakan mikroalga telah dilakukan oleh

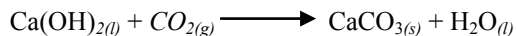
(Hernadi & Purwanto, 2009), yang menunjukkan bahwa proses reduksi gas CO₂ menggunakan mikroalga dipengaruhi oleh konsentrasi CO₂ input dan intensitas cahaya, namun masih terdapat kekurangan yaitu belum diketahuinya berapa lama penyerapan maksimum yang dilakukan mikroalga *Nannochloropsis oculata* dalam mereduksi CO₂ sehingga perlu diketahui berapa lama mikroalga mampu menyerap CO₂ sampai kadar penurunan konsentrasi CO₂ konstan.

Metodologi

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah mikroalga jenis *Nannochloropsis oculata* dan air laut yang berasal dari Balai Besar Pengembangan Budi Daya Laut Lampung, pupuk conwy, gas CO₂, Larutan Ca(OH)₂, dan udara. Sedangkan alat-alat yang digunakan yaitu gelas ukur, fotobioreaktor, tabung CO₂, aerator, flowmeter gas, lampu fluorescent, selang, distributor, pH meter.

Prosedur

Prosedur kerja yang dilakukan adalah rangkai aliran gas dari tabung gas CO₂ dan aerator ke *flowmeter* yang berguna untuk mengatur laju alirnya. Setelah dari *flowmeter* gas dialirkan ke tabung pembagi laju alir sebelum dialirkan ke fotobioreaktor. Selain itu, ukur juga intensitas cahaya matahari dengan menggunakan *luxmeter*. Atur laju alir gas CO₂ dengan laju alir total kemudian dikalikan 100 maka diperoleh konsentrasi CO₂ yang diinginkan dalam satuan persen (%). Sambungkan aliran gas dari tabung pembagi gas ke fotobioreaktor. Ukur kadar CO₂ input dengan larutan Ca(OH)₂, dilakukan saat fotobioreaktor dalam keadaan kosong. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan mereaksikan gas selama 5 menit pada laju alir 1 Liter/menit di aliran yang akan masuk fotobioreaktor dengan 20 mL larutan Ca(OH)₂ 1 M untuk diambil nilai pH-nya. Hal ini ditunjukkan oleh reaksi :



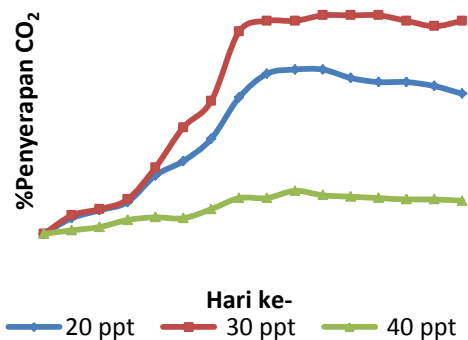
setiap fotobioreaktor diisi dengan 1 liter kultur biakan yang terdiri dari 800 ml air laut (media kultur) dan 200 ml bibit alga. Ukur konsentrasi CO₂ keluaran setelah fotobioreaktor terisi oleh alga dan media kultur. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan cara direaksikan dengan 20 ml larutan Ca(OH)₂ 1 M selama 5 menit pada laju alir keluaran tertentu untuk diambil nilai pH-nya. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi CO₂ yang tereduksi oleh alga dengan interval waktu 1 hari. Analisa ini dilakukan dari hari ke-0 sampai diperoleh nilai penyerapan CO₂ pada usia alga tertentu (hari ke-n). Persentase penyerapan konsentrasi CO₂ diperoleh dengan cara :

$$\text{penyerapan CO}_2 = \frac{\text{molCO}_2\text{awal} - \text{molCO}_2\text{akhir}}{\text{molCO}_2\text{awal}} \times 100\%$$

Dengan cara di atas maka akan diketahui jumlah penyerapan CO₂ setiap interval waktu.

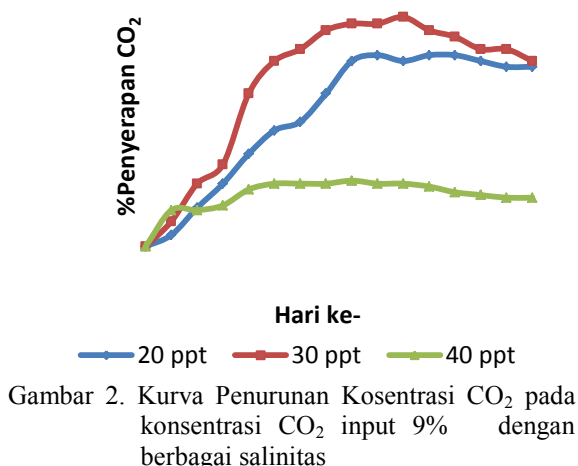
Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa salinitas 30 ppt penyerapan CO₂ maksimum pada rentang nilai yaitu sebesar 63,769 % yang dicapai pada hari ke 10 sampai hari ke-12. Pada kondisi ini penyerapan gas CO₂ yang dilakukan oleh mikroalga paling efektif, dikarenakan kondisi salinitas 30 ppt ini merupakan kondisi salinitas normal untuk pengkulturan, sedangkan penyerapan CO₂ dengan salinitas 20 ppt sebesar 47,955 % dimulai pada hari ke 9 dan 10, sedangkan pada salinitas 40 ppt penyerapan yang terjadi berlangsung lambat dan hanya mampu menyerap CO₂ tertinggi sebesar 12,559 % pada hari ke 9 dari konsentrasi CO₂ input 3%.



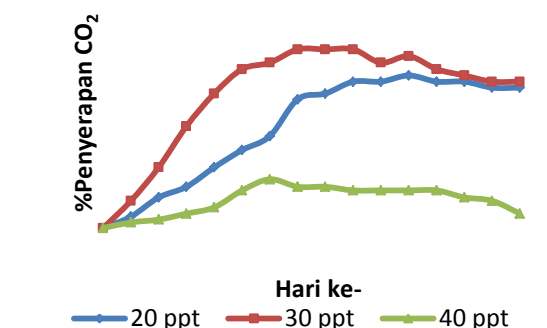
Gambar 1. Kurva Penurunan Kosentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ input 3 % dengan berbagai salinitas

Pada percobaan kedua penyerapan CO₂ menggunakan *Nannochloropsis oculata* pada salinitas yang berbeda, yaitu 20 ppt, 30 ppt dan 40 ppt dengan konsentrasi CO₂ input sebesar 9 % didapatkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar, nampak bahwa pada salinitas 30 ppt masih yang terefektif dengan mempunyai penyerapan CO₂ sebesar 16,185 % terjadi pada hari ke-10 pengkulturan, kemudian pada salinitas 20 ppt sebesar 13,494 % pada hari ke-9 pengkulturan, sedangkan pada salinitas 40 ppt penyerapan yang terjadi sebesar 4,646 % pada hari ke-8 pengkulturan.



Gambar 2. Kurva Penurunan Kosentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ input 9% dengan berbagai salinitas

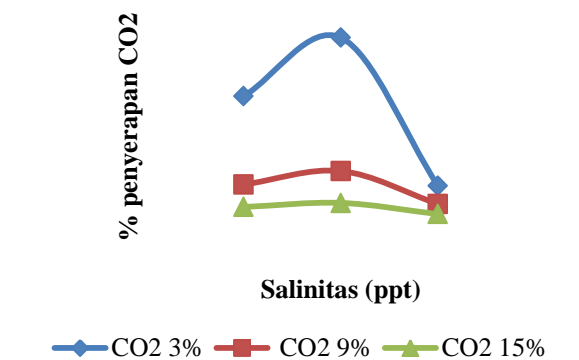
Dalam percobaan ketiga penyerapan CO₂ menggunakan *Nannochloropsis oculata* pada salinitas yang berbeda, yaitu 20 ppt, 30 ppt dan 40 ppt dengan konsentrasi CO₂ input sebesar 15 % didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pada gambar dibawah nampak bahwa pada salinitas 30 ppt masih tetap yang terbaik dibandingkan dengan salinitas lain nya, karena mikroalga mampu menyerap CO₂ input 15% tertinggi, yaitu sebesar 4,771 %. kemudian pada salinitas 20 ppt sebesar 4,074 %, sedangkan salinitas 40 ppt sebesar 1,004 %



Gambar 3. Kurva Penurunan Kosentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ input 15 % dengan berbagai salinitas.

Gambar 4 terlihat bahwa mikroalga pada hari ke-7 penyerapan CO₂ tertinggi pada salinitas 30 ppt dengan konsentrasi CO₂ 3% mampu menyerap sebesar 59,052%, sedangkan pada salinitas 20 ppt pada konsentrasi CO₂ 3% sebesar 39,788% dan pada salinitas 40 ppt dengan konsentrasi CO₂ 3% sebesar 10,442%.

Trand dari Gambar 4 menunjukkan semakin besar CO₂ masukan akan menurunkan kemampuan mikroalga *Nannochloropsis oculata* dalam menyerap CO₂ yang diberikan, serta salinitas yang berbeda-beda dapat mempengaruhi juga penyerapannya. Hal ini dikarenakan mikroalga mempunyai kemampuan adaptasi untuk pertumbuhan yang sesuai dengan kondisi aslinya



Gambar 4. Perbandingan penyerapan CO₂ pada hari ke-7

Pada percobaan terlihat bahwa *Nannochloropsis oculata* mempunyai kisaran konsentrasi CO₂ yang dapat diserap dan salinitas untuk perkembangannya, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ismi,1996) yang menyatakan bahwa salinitas kisaran salinitas optimum dari *Nannochloropsis oculata* sebesar 25 ppt – 35 ppt serta hasil penelitian (James et al, 1989) yang menunjukkan kisaran salinitas untuk pertumbuhan optimum pada 31 ppt dan temperature 22 °C.

Pada salinitas 30 ppt diperoleh penyerapan CO₂ yang baik, dikarenakan kondisi salinitas 30 ppt ini merupakan kondisi salinitas normal untuk pengkulturan sehingga kondisi lingkungan sangat mendukung untuk pertumbuhannya. Salinitas dapat mempengaruhi proses metabolisme pada *Nannochloropsis oculata* dikarenakan berguna untuk mempertahankan tekanan osmotik antara protoplasma dan air sebagai lingkungan hidupnya, Sehingga pada salinitas 30 ppt mikroalga *Nannochloropsis oculata* mempunyai perkembangan lebih baik dibandingkan dengan salinitas yang lain.

Pada setiap percobaan penyerapan CO₂ dapat dilihat penyerapan pada awal pengkulturan hanya sedikit konsentrasi CO₂ yang mampu diserap, hal ini dikarenakan *Nannochloropsis oculata* mengalami adaptasi terhadap lingkungan kultur yang baru. Hal ini mengakibatkan penyerapan CO₂ sangat sedikit dan cenderung konstan, sehingga pembacaan di pH meter tidak jauh berbeda dengan penyerapan pada saat pertama kali dilakukan pengukuran. Seiring bertambahnya waktu, *Nannochloropsis oculata* mampu beradaptasi, namun penyerapan yang terjadi terhadap konsentrasi CO₂ berbeda-beda.

Pada konsentrasi CO₂ input 3 % dan salinitas 30 ppt adalah yang terbaik dengan penyerapan tertinggi sebesar 63,769 %. Hasil ini berbeda dengan yang diperoleh (Hernadi ,2009) yang memvariasikan intensitas cahaya dan konsentrasi CO₂ input, dimana penyerapan CO₂ tertinggi sebesar 49,5% pada 1250 lumen dan 9% CO₂ dengan menggunakan mikroalga yang sama. Hal ini mungkin di sebabkan kurang ketelitian dalam pengukuran pH meter dari CO₂ yang keluar fotobioreaktor. Pada penelitian-

penelitian lain menyebutkan rata-rata penyerapan tertinggi diperoleh pada konsentrasi CO₂ input yang rendah, karena semakin besar konsentrasi CO₂ yang masuk dalam kultur maka temperaturnya akan semakin rendah dan pH kultur mengalami penurunan yang dapat mengakibatkan pertumbuhannya lambat sehingga penyerapan CO₂ tidak maksimal. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian (Sheng-Yui *et al* 2009) yang melakukan penelitian dengan *Nannochloropsis oculata*, hasil penelitian bahwa persentase tertinggi penyerapan CO₂ terjadi pada konsentrasi CO₂ 2% sebesar 47%.

Tabel 2. Hubungan CO₂ dalam air dengan suhu

| Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) | Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) | Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) |
|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| 0 | 1,10 | 11 | 0,74 | 21 | 0,54 |
| 1 | 1,06 | 12 | 0,72 | 22 | 0,52 |
| 2 | 1,02 | 13 | 0,69 | 23 | 0,51 |
| 3 | 0,99 | 14 | 0,67 | 24 | 0,50 |
| 4 | 0,94 | 15 | 0,65 | 25 | 0,48 |
| 5 | 0,91 | 16 | 0,62 | 26 | 0,46 |
| 6 | 0,88 | 17 | 0,60 | 27 | 0,45 |
| 7 | 0,86 | 18 | 0,59 | 28 | 0,44 |
| 8 | 0,82 | 19 | 0,58 | 29 | 0,43 |
| 9 | 0,79 | 20 | 0,56 | 30 | 0,42 |
| 10 | 0,76 | | | | |

Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18272/4/Chapter%20II.pdf>

Konsentrasi CO₂ masukan semakin besar akan berdampak pada temperatur kultur yang menurun, sehingga untuk pengkulturan yang dilakukan didalam fotobioreaktor dengan intensitas cahaya 4000 lux sehingga penyerapan CO₂ menjadi kurang efektif. Namun apabila pengkulturan dilakukan dengan intensitas cahaya yang tinggi yang berakibat suhu lingkungan meningkat maka kultur akan menyesuakannya namun tak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan pada intensitas cahaya yang tinggi terjadi *photo-inhibition*. *Photo-inhibition* mengakibatkan pertumbuhan mikroalga melambat. Peristiwa tersebut diakibatkan oleh reaksi foto-oksidasi di dalam sel karena cahaya yang berlebih tidak dapat diserap oleh bagian-bagian yang terlibat dalam fotosintesis (Barnes dan Mann 1999).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Konsentrasi CO₂ input yang rendah dan salinitas yang sesuai dengan habitatnya akan memberikan penyerapan konsentrasi CO₂ yang efektif. Konsentrasi CO₂ input 3 % dengan salinitas 30 ppt menghasilkan persentase penyerapan konsentrasi CO₂ tertinggi sebesar 63,769 %. Persentase penyerapan konsentrasi CO₂ terendah

terjadi pada konsentrasi CO₂ input 15 % dengan salinitas 40 ppt sebesar 1,004 x %.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, R. dan K. Mann.1999. *Fundamental of Aquatic Ecology*. Blackwell Science. Cambridge UK. Pp 270.
- Bishop, J.K.B. and R.E. Davis. 2000. *Autonomous Observing Strategies for the Ocean Carbon Cycle*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL-46860.
<http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-46860>
- Briggs, M.2004. *Widescale Biodiesel Production from Algae*.
http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article_algae.html.
- Chiu, S., Kao, C., Tsai, M., Ong, S., Chen, C., Lin, C. 2009. *Lipid Accumulation and CO₂ Utilization of Nannochloropsis oculata in Response to CO₂ Aeration*. Bioresource Technology.100: 833-838
- Hernadi, Eko.2009. *Penurunan Emisi Gas CO₂ Menggunakan Alga Nannochloropsis oculata dan Produksi Minyak Alga*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Ikawati, Yuni. 2007. *Plankton Reduksi Emisi Gas Karbon*. (Online), <http://www.pelangi.or.id/othernews.php?nid=3385>.
- Ismi, Suko.1996. *Perkembangan Populasi Nannochloropsis oculata pada Suhu dan Salinitas Yang Berbeda*. Loka Penelitian Perikanan Pantai Gondol, Bali.
- Schneider,S.H.1989. *The Greenhouse Effect: Science and Policy*. Science,243,771
- Setiawan, dkk 1.2008. *Teknologi Penyerapan Karbondioksida dengan Kultur Fitoplankton pada Fotobioreaktor*. Pusat Penelitian Oseanologi, Jakarta.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., Roessler, P.1998. *A look Back at The U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program : Biodiesel from Alg.*, Colorado, USA.
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18272/4/Chapter%20II.pdf>
http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global
[http://www.reed-mariculture.com/;](http://www.reed-mariculture.com/) 2009)

Anaerobic Digestion of Mix Industrial Waste Water Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor in Series with Variation of COD

Kurniadi, Panca Nugrahini F.

Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lampung University
Jl Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Telp. (0721) 701609
e-mail : Kurniadi_13@yahoo.com

ABSTRACT

The aim of this experiment is to learn about the digestion of mix waste water consist of tapioca, sugar and palm oil waste water with biological anaerobic process using upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor series, and sludge active mikroorganism starter as a degradation of microorganism and to know the process characteristic of waste water digestion with high variation of COD. Sugar waste water taken from PTPN VII. Bunga Mayang. Tapioca waste water taken from Tepung Tapioka Rakyat Industry (Ittari) in Desa Bumi Batang Hari East Lampung and palm oil waste water taken from PTPN VII Rejosari. In this experiment studied about the influences reactor adding from 1 to 2 units reactors in series, and COD increase to 5.000, 15.000, 25.000 and 30.000 mg/L with time 4, 6, 8, and 10 hours, and with pH and nutrition in natural. The efficiency of COD reduction result was good enough, it's about 89,2%-92,4%. The gas Accumulation average resulted in every experiment was in 4-10 ml/day. The Nature pH and nutrition was not influent the degradation process and effluent from reactor has pH about 5-6,8.

Keywords : Anaerobic, reactor UASB series, biogas, a mixture of liquid waste

PENDAHULUAN

Industri gula tebu, industri tepung tapioka dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000 mg COD/L, ± 30.000 mg COD/L dan 50.000 mg COD/L (Ahmad dkk, 2003). Secara kuantitas, proses produksi ketiga jenis industri tersebut menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yaitu: pengolahan 1 ton singkong menjadi tepung tapioka menghasilkan sekitar 4.000-6.000 liter limbah cair (Djarwati dkk, 1993), produksi 1 ton kelapa sawit mengeluarkan limbah cair sekitar 2.500-3.500 liter (Ahmad dkk, 2003) dan pengolahan 1 ton tebu per hari menghasilkan limbah cair sebesar 5000 liter (Mintati, 2002). Sistem pengolahan limbah cair *lagoon/pond* anaerobik terbuka yang diterapkan oleh ketiga industri tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, amoniak, hidrogen sulfida dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik (Kiely, 1997). Gas-gas tersebut kemudian terdispersi ke atmosfer/udara terbuka secara alami. Pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan kolam yang banyak dan besar sehingga memerlukan lahan yang luas. Selain gas metan, dispersi produk gas lain seperti CO_2 ke lingkungan terbuka berpotensi menimbulkan pemanasan global dan meningkatkan polusi. Gas metan yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair pabrik-pabrik tersebut dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar alternatif. Karena dapat menghasilkan biogas yang dapat diperbaharui dari sistem pengolahan anaerobik, limbah cair dipandang sebagai salah satu bahan yang

dapat menyediakan sumber energi terbarukan (Chaiprasert dkk, 2003).

Alternatif yang dapat dilaksanakan adalah dengan mengolah ketiga jenis limbah cair tersebut dalam suatu unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) khusus menggunakan teknologi proses sel terimobilisasi. Dengan cara tersebut, pihak industri hanya diwajibkan mengirim limbah ke kompleks IPAL khusus, sehingga pabrik tidak akan terbebani biaya dan pengoperasian IPAL. Keuntungan yang akan diperoleh pihak pabrik adalah pembiayaan proses produksi pabrik dapat berkurang, sehingga harga jual produk pabrik ke masyarakat dapat diturunkan. Salah satu unit instalasi pengolahan air limbah industri (IPAL) dengan menggunakan teknologi sel terimobilisasi yaitu bioreaktor UASB (*Upflow Anaerobik Sludge Blanket*). Penelitian tentang pengolahan limbah cair campuran dari tiga jenis industri tersebut dengan menggunakan teknologi proses anaerobik UASB telah dilakukan dan berjalan dengan baik (Widyantoro, dkk.2007). Pada riset tersebut, telah berhasil dieksplorasi kondisi operasi untuk pengolahan limbah cair gabungan. Reduksi COD limbah cair berada pada rentang yang baik, yaitu sekitar 63,20%-82,90% (rata-rata) dengan laju beban organik sebesar 10-90 kg COD/m³/hari, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang baik. Dalam riset tersebut juga didapatkan bahwa pada kondisi pH-nutrisi alami dengan nilai pH 5,01-6,94 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal.

Proses biodegradasi limbah cair campuran dengan menggunakan reaktor UASB telah dilakukan dan bekerja dengan baik, namun konsentrasi COD

effluent yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor UASB single belum dapat memenuhi standar bahan baku mutu yang dianjurkan pemerintah. Maka berdasarkan uraian tersebut, pengkajian lebih lanjut pengembangan sistem IPAL dengan teknologi sel terimobilisasi UASB disusun secara seri.

Metode Penelitian

2.1 Analisis Awal Kondisi Limbah Cair

Masing-masing limbah cair dan limbah cair campuran diukur nilai suhu, pH, COD, kandungan zat padat (TSS), dan tingkat kekeruhan (APHA, 1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat.

2.2 Karakterisasi Umpan

Stok limbah cair industri gula, limbah cair industri tapioka, dan limbah cair industri kelapa sawit yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur dengan perbandingan volume optimal yaitu 1: 1: 12 untuk umpan ke reaktor UASB sehingga diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 20.000 mg/L yang kemudian dapat diencerkan sesuai umpan yang diinginkan ke reaktor UASB (Widyantoro dkk, 2008) dengan pH dan nutrisi alami (Metcalf dan Eddy, 1991).

2.3 Lumpur Anaerobik Starter (Inokulum)

Lumpur berasal dari unit IPAL PPKS yang menggunakan proses anaerobik lagoon. Lumpur diambil dari bagian dasar dengan alat khusus sekitar 2 liter dan kemudian disimpan dalam jeriken yang ditutup rapat. Inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan. Analisis fisik dan kimia kondisi mikroba starter difokuskan pada suhu asal dan suhu sebelum dilakukan *start-up*, observasi visual, pH.

2.4 Reaktor Start-Up

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal sekitar 5.000 mg/L dengan pH alami dialirkan secara batch recycle beberapa hari sampai kondisi stabil yakni reduksi COD mencapai 80%. Selama proses start-up tersebut, observasi difokuskan pada reduksi konsentrasi COD. pH influen diamati setiap hari, jika pH umpan kurang dari 5 maka dialirkan umpan baru kedalam reaktor UASB.

2.5 Eksperimen

Setelah reduksi 80% COD, reaktor siap untuk dioperasikan pada kondisi yang divariasikan. Umpan dipersiapkan pada konsentrasi COD 5000, 15.000, 25.000, 30.000 mg/l. Konsentrasi COD influen dinaikkan secara bertahap dari 5.000 hingga konsentrasi maksimum 30.000 mg/l sambil diperiksa konversi COD. Variasi lain yang ditinjau adalah

waktu limbah cair didalam reaktor (HRT) yaitu 4, 6, 8, dan 10 jam.

2.6 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan *full factorial*. Kondisi yang dianggap sebagai kelompok adalah kelompok waktu pengamatan. Lama waktu pengamatan untuk setiap kondisi perlakuan adalah 8 hari, dan proses berlangsung secara berkesinambungan (*continue*), tanpa dilakukan replikasi (pengulangan). Kondisi perlakuan terdiri atas kondisi perlakuan dengan 6 faktor pengamatan, yaitu COD *influent* dan *effluent*, TSS *influent* dan *effluent*, pH *influent* dan *effluent*, Kekeruhan *influent* dan *effluent*, dan produksi gas. Formulasi rancangan percobaan diuraikan dalam Tabel 1.

Parameter Percobaan :

Konsentrasi COD influen (mg/l) = 5000, 15.000, 25.000, 30.000

Hydraulic Retention(HRT)= 10 jam, 8 jam, 6 jam, 4 jam

Kandungan nutrisi = Nutrisi alami

pH umpan = pH alami

Tabel 1. Rancangan Percobaan

| Run | COD (mg/l) | HRT (jam) |
|-------|------------|-----------|
| Start | 5000 | 10 |
| 1 | 15000 | 10 |
| 2 | 25000 | 10 |
| 3 | 30000 | 10 |
| 4 | 5000 | 8 |
| 5 | 15000 | 8 |
| 6 | 25000 | 8 |
| 7 | 30000 | 8 |
| 8 | 5000 | 6 |
| 9 | 15000 | 6 |
| 10 | 25000 | 6 |
| 11 | 30000 | 6 |
| 12 | 5000 | 4 |
| 13 | 15000 | 4 |
| 14 | 25000 | 4 |
| 15 | 30000 | 4 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Nilai akhir dari setiap faktor yang diamati pada setiap kondisi dalam eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai akhir reduksi kandungan COD limbah cair berada pada rentang 77.08 %-92,40 %, pH akhir berada pada interval 5,0-6,9; kandungan TSS adalah sekitar 69-1.120 mg/L dan turbiditas pada nilai 109-1.543 FAU, serta produksi gas rata-rata yang dihasilkan 3,14-6,47 (ml/hari).

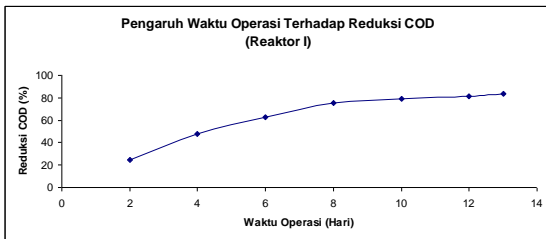
Tabel 2 Hasil nilai faktor pada setiap run (perlakuan)

| Run | Nilai Akhir Tiap Pengamatan | | | | Nilai Rerata Produksi Gas |
|-----|-----------------------------|-------------|-----|-----|---------------------------|
| | Reduksi COD | Turbi ditas | TSS | pH | |
| 1 | 92,40% | 586 | 441 | 6,7 | 3,14 |
| 2 | 89,68% | 507 | 423 | 6,2 | 4,71 |
| 3 | 90,63% | 497 | 352 | 6,4 | 5,49 |
| 4 | 89,96% | 203 | 151 | 5,8 | 3,33 |
| 5 | 90,33% | 660 | 451 | 6,6 | 4,90 |
| 6 | 89,72% | 516 | 420 | 6,3 | 4,91 |
| 7 | 89,63% | 498 | 351 | 6,4 | 6,08 |
| 8 | 90,00% | 205 | 150 | 6,3 | 5,29 |
| 9 | 89,93% | 447 | 328 | 6,6 | 5,69 |
| 10 | 89,40% | 382 | 380 | 5,9 | 5,69 |
| 11 | 89,16% | 187 | 140 | 6,3 | 4,90 |
| 12 | 89,92% | 207 | 152 | 6,5 | 4,71 |
| 13 | 89,67% | 327 | 244 | 6,8 | 5,69 |
| 14 | 89,52% | 248 | 260 | 6,1 | 6,08 |
| 15 | 89,76% | 109 | 69 | 6,8 | 6,47 |

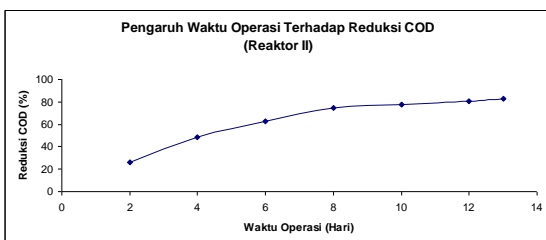
3.2 Pembahasan

Pada fase *start-up*, konsentrasi limbah cair yang digunakan sebagai umpan untuk proses di bioreaktor secara *batch* adalah 5.000 mgCOD/L. *Start-up* proses ditinjau setiap hari, tetapi analisis COD dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali, hal ini dikarenakan perubahan nilai COD yang belum terlalu besar pada rentang satu hari.

Semakin lama waktu operasi pendegradasian campuran limbah cair di dalam bioreaktor nilai reduksi COD akan semakin besar yang ditandai dengan semakin kecilnya nilai COD *effluent*. Pernyataan ini dapat dilihat pada 2 buah gambar di bawah ini.



Gambar 4.20. Hubungan waktu *start-up* terhadap reduksi COD pada reaktor I



Gambar 4.21. Hubungan waktu *start-up* terhadap reduksi COD pada reaktor II

Pada dua buah grafik di atas dapat dilihat bahwa proses adaptasi terhadap biodegradasi campuran

limbah cair untuk mencapai kondisi degradasi COD yang stabil pada rentang 80%-83,66% sebelum masuk tiap run dengan pembebanan yang lebih tinggi memerlukan waktu tigabelas hari baik itu pada reaktor I maupun reaktor II. Pada hari kedua setelah reaktor beroperasi, nilai COD *effluent* pada reaktor I yaitu 3.780 mg/L (nilai reduksi COD 24,4%), sedangkan pada reaktor II sebesar 3.710 mg/L (nilai reduksi COD 25,8%). Nilai tersebut semakin meningkat sejalan dengan hari operasi dimana pada hari keempat reduksi COD pada reaktor I dan II telah mencapai 48% dan 48,2%; pada hari keenam reduksi untuk masing-masing reaktor sebesar 62,8% dan selanjutnya mencapai tingkat reduksi sebesar 83,66% dan 82,7% pada hari ketiga belas sehingga proses kontinyu dengan beban COD lebih besar dapat dilakukan.

Diperlukan reduksi COD hingga mencapai 80% sebelum dilanjutkan ke dalam proses kontinyu yaitu karena pada saat reduksi COD telah mencapai 80% maka kinerja mikroorganisme dapat dikatakan telah stabil sedangkan jika nilai reduksi COD di bawah 80% kerja mikroorganisme belum dikatakan stabil karena jika di lanjutkan dengan proses kontinyu pada beban COD yang lebih tinggi mikroorganisme tidak akan dapat mereduksi COD dengan nilai yang tinggi atau dapat dikhawatirkan mikroorganisme tersebut akan mati.

Sebelum dilakukan proses kontinyu terlebih dahulu dua buah reaktor dihubungkan secara seri. Setelah reaktor beroperasi dalam tahap *start-up* selama 13 hari, kemudian dilanjutkan dengan proses kontinyu untuk melihat kinerja Bioreaktor UASB.

Proses kontinyu dilakukan bertahap dari konsentrasi COD 15.000, 25.000 dan 30.000 mg/L, dan kemudian dilakukan pengulangan, namun dimulai dari konsentrasi COD 5.000 mg/L hingga 30.000 mg/L dan seterusnya.

Reduksi akhir pada setiap run hampir memiliki nilai yang sama yaitu 90%, sehingga dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO dapat beraktivitas dengan baik dalam campuran limbah cair yang digunakan, meskipun limbah cair pada influent diambil dari IPAL kolam pertama yang masih mengandung bahan pencemar yang tinggi.

Peningkatan konsentrasi COD umpan untuk tiap run mengakibatkan turunnya nilai reduksi COD limbah cair, tetapi hal tersebut berlangsung hanya dalam sementara waktu dimana, seperti diuraikan dalam gambar di atas, mikroorganisme mulai menunjukkan peningkatan aktivitas reduksinya kembali 1(satu) hari berikutnya setelah dilakukan perubahan nilai COD umpan.

Pada konsentrasi COD 30.000 mg/L menghasilkan reduksi yang cukup baik yaitu 89,76%, pada run ke-15 ini dapat dikatakan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair

pabrik kelapa sawit dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan, meskipun dalam campuran *influent* limbah cair kelapa sawit dan limbah cair gula diambil dari kolam pertama pengolahan limbah.

KESIMPULAN

1. Proses reduksi kandungan COD limbah cair campuran pada saat *start-up* berlangsung dengan waktu relatif cepat, meskipun limbah sawit di ambil dari kolam pertama, yang masih mengandung bahan pencemar yang tinggi. Hal ini menunjukkan mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif masih dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.
2. Rentang hasil reduksi kandungan COD limbah cair yang diumpangkan pada setiap kelompok eksperimen cukup baik, yaitu 89%-92,4%. Sehingga penggunaan bioreaktor UASB untuk proses degradasi campuran limbah cair industri merupakan alternatif yang cukup baik.
3. Jumlah gas yang terakumulasi berada pada rentang rata-rata 2,6-5,9 mL/hari, akumulasi gas tersebut juga tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan, karena kendala penelitian seperti aliran gas yang ikut terbawa bersama *effluent* menuju ke tangki *settler* masih terjadi. Selain itu pengukuran gas ini juga dipengaruhi oleh keakuratan penggunaan gas metering unit yang digunakan.
4. pH alami *influent* yang diumpangkan cenderung bersifat asam dengan nilai 4,1-4,9. Namun kondisi ini tidak mempengaruhi kinerja dari bioreaktor UASB. Dan *effluent* dari reaktor ini mempunyai pH yang mendekati netral dengan rentang pH 5,2-6,8.
5. Lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup efektif dalam menyaring kandungan TSS *influent* dan mereduksi tingkat kekeruhannya, tetapi nilai TSS dan kekeruhan *effluent* masih tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu industri, sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut akan hal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, J., Pramono, D., dan Ryan, A.S., 2006, *Continous start-upstrategies of UASB operation degrading tapioca wastewater*, Proc. HEDS Sem Sci Tech, Jakarta
- Agustian, J. dan Santoso, B.I., 2006, *Proses degradasi limbah cair substrat ganda secara biologi anaerobik*, Laporan Penelitian Mandiri, Universitas Lampung
- Ahmad, AL., Ismail, S. dan Bhatia, S., 2003, *Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology*, Desalination, 157, p. 87-95
- Amatya, P.L., 1996, *Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor*. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Anh, N.T. 1998. *Methods for UASB Reactor Design*. Camber Southeast, Inc. <http://www.waterandwastewater.com>
- Anonim, 1997,
- Annachatre, A. P. dan Amatya, P. L., 2000, *UASB Treatment Of Tapioca Starch Wastewater*, Journal Of Environmental Engineering. Dec. 2002: 1149-1152.
- APHA (1985), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th ed., Washington DC: American Public Health Association
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1996. *Buku panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tapioka di Indonesia*. Jakarta.
- BAPEDALDA Lampung, 2004, *Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung*, Lampung
- Chaiprasert, P., Nophanata, A., Chayawattana, T., Wangnai, C., Rukruem, W., Kullavanijaya, P., Bhumiratana, S., dan Tanticharoen, M., 2003, *The biogas plants high rate anaerobic fixed film technology for agroindustrial wastewater*, KMUTT, Thailand
- Djarwati, Iffatul Fauzi, dan Sukani, 1993. *Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika*, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang
- Fang, H.H.P. dan Chui, H.K., 1993, *Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37°C*, J. Env. Eng., Vol. 119(1), pp. 103-119
- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. dan Chui H.K., 1995, *Performance and sludge characteristics of UASB process treating propionate-rich wastewater*, Wat. Res., Vol. 29(3), pp. 895-898
- Ghangrekar, M.M. dkk, 1996, "Experience with UASB Reactor Start-up Under Different Condition." *Wat.Sci.Tech.* 34 (5-6): 421-428.
- Grotenhuis, J.T.C., Kissel, J.C., Plugge, C.M., Stams, A.J.M., dan Zehnder, A.J.B., 1991, *Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors*, Wat. Res. Vol. 25(1), pp. 21-27
- Jeganaesan, J. dan Annachatre, A., 2002, State of wastewater management in agro-based starch industry in Thailand, WWTM Newsletter, March
- Kiely, 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. dan Klapwijk A., 1980, *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment*, Biotech. and Bioeng., Vol. 27, pp. 699-734

- Mangunwidjaja, Djumali dan Suryani, Ani. 1994. *Teknologi Bioproses*. PT. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Metcalf dan Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York, Mc Graw Hill Inc.
- Mintati, S., 2002. *Penjernihan Effluent IPAL Industri Gula Tebu dengan Bioreaktor*, Bandar Lampung.
- Quang, N.T., 1986. *Tapioca starch Wastewater Treatment by Aerobic Fluidized Bed Process*. Master Thesis, AIT, Bangkok : EV 86-4.
- Salim, J., 2001, *Developing national capability to implement clean development mechanism (CDM) in ASEAN*, ASEAN CDM Ins. Program, UNIDO
- Saputra,dkk. 2007, *Karakterisasi Perombakan Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB)*, Laporan Penelitian. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Schmidt, J.E. dan Ahring, K., 1996, *Granular sludge formation in UASB reactors*, Biotech. Bioeng., Vol. 49, pp. 229-246
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1998, *A critique on operational strategy for start-up of UASB reactors: Effects of sludge loading rate and seed/biomass concentration*, Biochem. Eng. J., Vol. 1, pp. 107-119
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1999, *Nutrient requirement for UASB process: A Review*, Biochem. Eng. J., Vol. 3, pp. 35-54
- Uemura, S. dan Harada, H., 1995, *Inorganic composition and microbial characteristic of methanogenic granular sludge grown in a thermophilic UASB reactor*, Appl. Micr. and Biotech., Vol. 43, pp. 358-364
- Wah, W.P., Sulaiman, N.M., Nachiappan, M., dan Varadaraj, B., 2002, *Pre-treatment and membrane ultrafiltration using treated palm oil mill effluent (POME)*, Songklanakarin J. Sci. Tech, Vol. 24 (suppl), pp. 891-898
- Widyantoro, Ari. 2008. *Karakterisasi Campuran Limbah Cair Industri Dengan Menggunakan Reaktor UASB dengan variasi COD Tinggi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Wiegant, M.W. dan de Man, A.W.A., 1980, *Granulation of biomass in thermophilic UASB reactors treating acidified wastewaters*, Biotech. and Bioeng., Vol. 28, pp. 718-727
- Wu, W.M., Hu, J., Gu, X., Zhao, H. dan Gu, G., 1987, *Cultivation of anaerobic granular*
- sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed*, Wat. Res., Vol. 21 No. 7. pp. 787-799

The Comparison of Furfural Yield in Hydrolysis Reaction Used Various Catalyst

Suharto

UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI
Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang - Lampung Selatan
Telepon : 0721-350054 ; Fax : 0721-350056
email : harto_berg@yahoo.com

Abstract

The needs of Furfural as solvent in purify extraction of lubricating oil as well as other requirement in so many chemical industries in Indonesia is the existing still be chockablock import. In spite of many agricultural wastes containing pentosan as furfural source are available in our state, for example : corncobs (30 %), bagasse (25%), hay and generally agricultural solid waste Corncobs waste hydrolysis with various sour catalyst types is done with digester 500 L at operation condition (pressure 6 Bar, temperature 157 °C, operating time 2 hour) obtained furfural. One of factor influencing furfural yield in process of this hydrolysis is acid catalyst type is the other factor is operation parameters. In this research applied some acid catalysts (sulfuric acid, chloride acid and posfat acid) to know best catalyst type to get furfural. After digestion around 2 hour at operating condition the vapour in digester is discharged. Here in after direct digester exit vapour is overcome to distillation column , so that happened fractionation and gets distillate in two phases : furfural rich phase (94 % mass) and rich phase of water. Furfural release from digester also can be assisted with stream open steam which come into dilution in digester and also stream through via coil. In this research hydrolysis process and continued with stream open steam is obtained sulphate acid catalyst as best catalyst of which can give best furfural raw estimated 2,46 L for every 60 kg corncobs waste (dry oven) with steam injection only once.

Keyword : furfural ; hydrolysis ; catalyst; pentosan; corncobs

Pendahuluan

Sebagai negara agraris, Indonesia selayaknya mengembangkan teknologi pengolahan produk pertanian dan perkebunan, termasuk juga teknologi pemanfaatan biomassa atau limbah padat lignoselulosa. Pemanfaatan biomassa ini dapat diharapkan memberi nilai tambah pada tingkat petani, pengurangan beban pembuangan limbah dan diversifikasi sumber bahan kimia. Beberapa negara maju, dan bahkan USA menaruh perhatian besar pada pengembangan teknologi pemanfaatan biomassa ini, misalnya [Hettenhaus, Wooley and Wiselogel, 2000].

Tongkol Jagung merupakan salah satu limbah lignoselulosa yang cukup potensial sebagai sumber bahan kimia, karena mengandung komponen utama : selulosa (bahan pulp), hemiselulosa (bahan xylose atau C₅-sugars, dan furfural) dan lignin (untuk binder, *surfactant*, dan lain-lain). Salah satu pengembangan yang menarik adalah produksi furfural karena tongkol jagung mengandung 30 % pentosan yang merupakan sumber furfural. Furfural sangat menarik untuk dikembangkan karena bahan kimia ini mempunyai banyak kegunaan antara lain : sebagai *solvent* dalam proses produksi minyak pelumas dikilang minyak, untuk memproduksi plastik, ekstraksi untuk *mineral oils*, aditif untuk bahan bakar, resin dan lain-lain (Retno Sumekar, dkk., 1993).

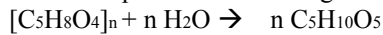
Peluang pasar furfural di Indonesia cukup luas mengingat kebutuhan furfural Indonesia masih dipenuhi dengan impor. Produksi dan konsumsi furfural dunia disajikan di Tabel 1.

Tabel 1. Produksi dan konsumsi furfural dunia, 2001 (asam asetat) (metanol)

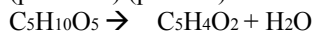
| No. | Negara | Produksi Furfural ton/year | Konsumsi furfuril alkohol ton/year | | |
|-------|-----------------------|----------------------------------|--|-------|-------|
| 1. | China | corn cobs | 200,000 | 5,000 | 6,000 |
| 2. | USA | 8,000 | 20,000 | | |
| 3. | Thailand | corn cobs | 8,500 | | |
| 4. | Taiwan | 5,000 | 5,000 | | |
| 5. | Japan | 6,000 | 15,000 | | |
| 6. | Dominican Republic | bagasse | 32,000 | | |
| 7. | South America | 5,000 | 10,000 | | |
| 8. | South Africa | bagasse | 20,000 | 2,000 | 6,000 |
| 9. | Spain | corn cobs | 6,000 | | |
| 10. | Middle East | | 7,000 | | |
| 11. | India and others | corn cobs and bagase | 15,000 | | |
| 12. | Russia | corn cobs | unkown | | |
| 13. | Europe | 12,000 | 7,000 | | |
| 14. | UK | | 12,000 | | |
| 15. | Germany | | 18,000 | | |
| 16. | Others | > 50,000 | 31,000 | | |
| Total | | 50,000 -100,000 | 130,000 | | |
| Total | | > 280,000 | 200,000 – 250,000 | | |

Melalui proses hidrolisis dengan katalis asam sulfat encer, limbah tongkol jagung tersebut dapat diolah menjadi furfural. Proses hidrolisis telah dilakukan dengan menggunakan Digester kapasitas 500 L. Hidrolisis pada tekanan sekitar 6 bar (temperatur 157°C) menghasilkan hidrolisat dengan kandungan furfural yang berbeda tergantung konsentrasi katalis dan parameter operasi lainnya (Susanto, H *et al*, 2004). Selanjutnya furfural dipisahkan dari hidrolisat dengan cara distilasi *azeotropik* pada tekanan atmosferik.

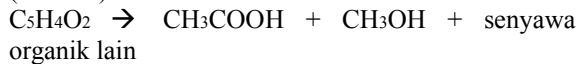
Secara ringkas mekanisme reaksi pembentukan furfural dapat dituliskan sebagai berikut:



(pentosan) (pentosa)



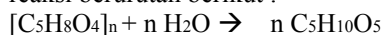
(furfural)



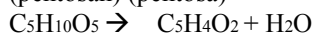
(asam asetat) (metanol)

Furfural ditemukan oleh *Dobereiner* pada 1832. Sembilan puluh tahun kemudian, sekitar 2000 penyelidikan dilaporkan dalam literatur, tetapi pada 1920 belum ada produksi komersial furfural. Penelitian yang dilakukan pada tahun tersebut untuk produksi pakan ternak dengan cara *acid digestion oat hull*, *Brownlee* menemukan uap furfural dalam digester. Furfural pertama diproduksi oleh *The Quaker Oats Company* pada Februari 1922 untuk produksi resin fenolik.

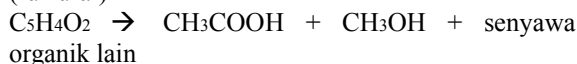
Pembentukan furfural dapat dinyatakan sebagai reaksi berurutan berikut :



(pentosan) (pentosa)



(furfural)



Perolehan furfural menurut stokiometri reaksi di atas adalah 73 g per 100 g pentosan. Pembentukan furfural tidak dapat dilakukan secara keseluruhan dari kandungan pentosan yang terdapat dalam bahan, karena selama waktu proses pembentukan molekul furfural ini sebagian akan terdegradasi berubah menjadi bahan lain seperti asam asetat, metanol dan senyawa organik lain.

Melalui proses hidrolisis dengan katalis asam sulfat encer, limbah tongkol jagung tersebut dapat diolah menjadi furfural. Proses hidrolisis telah dilakukan dengan menggunakan Digester kapasitas 500 L. Hidrolisis pada tekanan sekitar 6 bar (temperatur 157 °C) menghasilkan hidrolisat dengan kandungan furfural yang berbeda tergantung konsentrasi katalis dan parameter operasi lainnya. Selanjutnya furfural dipisahkan dari hidrolisat dengan cara distilasi *azeotropik* pada tekanan atmosferik.

Pada penelitian dan pengembangan unit produksi furfural ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

- memanfaatkan limbah agrikultur berupa tongkol jagung yang tersedia cukup banyak di Indonesia.
- Menentukan jenis katalis terbaik untuk memperoleh furfural dari limbah tongkol jagung.

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan :

Bahan baku yang dipergunakan pada proses hidrolisis ini berupa tongkol jagung utuh. Tongkol jagung utuh sebelum hidrolisis terlebih dahulu diukur kadar airnya untuk menentukan berat kering sebenarnya.

Sedangkan beberapa jenis katalisator yang digunakan terdiri dari asam sulfat, asam klorida dan asam fosfat dengan berbagai perbandingan volum terhadap berat kering oven tongkol jagung.

Metode Penelitian :

- mempersiapkan bahan baku berupa tongkol jagung kering udara sebanyak 60 kg.

- memasukkan tongkol jagung tersebut ke dalam Digester melalui tutup atas kemudian ditekan-tekan hingga lebih padat, larutan asam dengan berbagai volum dari bahan baku kering dibuat dan disiapkan untuk dimasukkan ke dalam Digester sampai tongkol jagung terendam
- pemeriksaan tutup atas dan bawah, sambungan-sambungan perpipaan dan intrumen-instrumen seperti suhu, tekanan pada Digester sampai kuat dan tidak bocor.
- menyiapkan kukus pada tekanan $P : 8 \text{ kg/cm}^2$ dari Boiler untuk dialirkan ke Digester dengan cara membuka kran pada sambungan coil besar di dalam Digester, sampai mencapai suhu cairan Digester $T : 150 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$, kran pada sambungan coil besar ditutup.
- pada suhu Digester $T : 150 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan terbaca 6 kg/cm^2 , suhu proses hidrolisis dipertahankan pada suhu $T : 150 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$ selama waktu $t : 2 \text{ jam}$, untuk mempertahankan suhu $T : 150 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$ difungsikan *coil* pemanas didalam Digester dengan cara membuka kran kecil dibuka/ditutup.
- setelah proses hidrolisis dipertahankan selama $t : 2 \text{ jam}$ dan tekanan $P : 6 \text{ kg/cm}^2$ pada Digester kran atas pada digester dibuka pelan-pelan dan dialirkan ke dasar distilasi reboiler, sesaat sampai mencapai suhu $T : 100 \text{ }^\circ\text{C}$.
- selama proses distilasi berlangsung, uap kaya furfural mengembun pada bagian atas kolom dan sebagian dimasukkan kembali kedalam kolom isian sebagai refluk total dengan cara gravitasi aliran embunan, furfural diambil pada lapisan bagian bawa dengan cara membuka kran penampung, furfural terambil rata-rata 150 ml dan dikumpulkan sampai proses pemisahan selesai.
- pada saat tekanan dalam digester mencapai $P : 0,5 \text{ kg/cm}^2$ dilakukan injeksi uap (*open steam*) atau ke coil pemanas hingga $P : 6 \text{ kg/cm}^2$, pada saat injeksi kran ke kolom distilasi tetap dalam keadaan terbuka.
- proses pemisahan dan hidrolisis dipandang selesai bila mana pemisahan furfural dan air sudah nampak berkurang atau tidak ada lagi dengan cara pengamatan melalui selang transparan dan diletakkan dibawa kondensor, butiran-butiran berwarna kuning transparan.

Hasil dan Pembahasan

Parameter yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi pengaruh konsentrasi beberapa jenis katalis asam terhadap perolehan furfural pada kondisi operasi ($P : 6,5 \text{ bar}$ temperatur $157 \text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu hidrolisis 2 jam), dengan perbandingan cairan dan padatan kurang lebih $5 \text{ (L/S} = 5 - 5,5 \text{ L/kg)}$. Hasil percobaan hidrolisis tongkol jagung dengan berbagai konsentrasi pada beberapa jenis katalis untuk memperoleh furfural dapat dilihat pada Tabel 2.

| Tabel 2. Percobaan Hidrolisis Tongkol Jagung Menggunakan Beberapa Jenis Katalis Asam Run Volum (ml) | Jenis Katalis | Jumlah Katalis | Liquor/solid (L/S), L/kg | Perolehan furfural, mL/60 kg bonggol jagung kering | Yield furfural, % berat (Densitas furfural 1,13 gr/ml) | |
|---|---|----------------|--------------------------|--|--|------|
| A | Tanpa | - | - | 5 – 5,5 | 425 | 0,80 |
| B.1 | Asam Klorida (HCl) | 300 | 0,50 | 5 – 5,5 | 825 | 1,55 |
| B.2 | 700 | 1,17 | | 5 – 5,5 | 980 | 1,85 |
| B.3 | 1000 | 1,67 | | 5 – 5,5 | 1125 | 2,12 |
| B.4 | 2000 | 3,33 | | 5 – 5,5 | 2100 | 3,96 |
| C.1 | Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) | 300 | 0,50 | 5 – 5,5 | 1295 | 2,44 |
| C.2 | 700 | 1,17 | | 5 – 5,5 | 2165 | 4,08 |
| C.3 | 1000 | 1,67 | | 5 – 5,5 | 1885 | 3,55 |
| C.4 | 2000 | 3,33 | | 5 – 5,5 | 995 | 1,87 |
| D.1 | Asam Fosfat (H ₃ PO ₄) | 300 | 0,50 | 5 – 5,5 | 1000 | 1,88 |
| D.2 | 700 | 1,17 | | 5 – 5,5 | 1750 | 3,30 |
| D.3 | 1000 | 1,67 | | 5 – 5,5 | 2120 | 3,99 |
| D.4 | 2000 | 3,33 | | 5 – 5,5 | 2460 | 4,63 |

Variasi Jenis Katalis Terhadap Perolehan Furfural 0 500 1000 1500 2000 2500 3000 0 500 1000 1500 2000 2500 Jumlah Asam (ml) Jumlah Furfural (ml)
HCl H₃PO₄ H₂SO₄
pelepasan tekanan
6 → 0,5 barG
digester
500 L

Gambar 1. Diagram Proses Hidrolisis dan Distilasi

steam
condensate
fasa furfural
uap
reboiler
packed column
dekanter
hydrolysate

Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Perolehan Furfural

Perolehan furfural tertinggi yang dicapai dalam penelitian ini adalah 2,46 L setiap 60 kg tongkol jagung kering dengan menggunakan katalis asam fosfat sebanyak 2000 ml dengan injeksi steam ke digester dilakukan hanya satu kali. Jumlah furfural yang diperoleh hampir 6 kali lebih banyak jika dibandingkan tanpa katalis. Secara teoritis dapat dijelaskan jika 60 kg tongkol jagung mengandung pentosan sebesar 30 % maka jumlah pentosan adalah 18 kg. Konversi teoritis pentosan menjadi furfural menurut stokiometri reaksi sebesar 72 %, maka furfural yang akan terbentuk secara teoritis sebesar

12 kg. Perolehan furfural yang diperoleh pada penelitian ini masih jauh dari teoritis, beberapa faktor penyebab mengapa perolehan ini masih jauh dari teoritis antara lain : injeksi steam dilakukan hanya satu kali, temperatur hidrolisis relatif masih rendah, furfural yang terbentuk sebagian besar larut dalam hidrolisat, sebagian lagi terdegradasi menjadi senyawa organik lain, kemungkinan terjadi kebocoran dalam proses hidrolisis dan pada saat pelepasan uap dari digester.

Upaya perbaikan proses masih akan dilakukan untuk meningkatkan konversi dan mengurangi degradasi furfural seperti peningkatan temperatur hidrolisis, pengaturan waktu pemasakan, ratio padatan dan cairan, waktu pelepasan tekanan digester, dan *steam stripping* yang dimaksudkan untuk meningkatkan perolehan dan kinerja unit pemroses

Kesimpulan

Pada penelitian ini memberikan informasi bahwa pengaruh jenis katalis dalam proses hidrolisis mempengaruhi perolehan furfural sebagai berikut :

- Perolehan furfural terbesar sebesar 2460 ml setiap 60 kg tongkol jagung kering dengan jumlah asam fosfat sebesar 2000 ml pada kondisi operasi L/S = 5-5,5 (L/kg) ; P = 6 kg/cm₂ ; T = 157 °C ; waktu hidrolisis 2 jam

- Katalis asam fosfat memberikan perolehan furfural 5,8 kali lebih banyak dibandingkan tanpa katalis pada kondisi operasi yang sama

Daftar Pustaka

- Perry, R.H., 1984, "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 7th, Mc Graw-Hill Inc., New York, hal. 13.1 – 13.97
- Retno Sumekar, dkk., 1993, "Furfural dari Bagase", Paket Informasi Teknologi Industri Kimia, PDII, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Susanto, H. Suharto dan Kismurtono, *Rekayasa Digester Pemasakan Tandan Kosong Sawit untuk Produksi Furfural dan Pulp*, Laporan Akhir RUT IX, 2004
- <http://www.dalinyebo.co.za>

Pengaruh Konsentrasi CO₂ Input dan Salinitas Media Kultur terhadap Penyerapan CO₂ pada Mikroalga *Nannochloropsis oculata*

Widya Wahyuningsih, Elida Purba

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

Email : greendaon@yahoo.co.id

Abstract

Since the global warming caused by CO₂ emission is increasingly worrying, the effort in reducing CO₂ emission is required. This research was carried out in order to determine the effect of CO₂ – air input and salinity of cultured medium on the ability of *Nannochloropsis oculata* (NO) in removal of CO₂ in air. The concentration of CO₂ – air input was varied 3, 9, and 15% and cultured salinity 20, 30, and 40 ppt. The source of light is purely sun light, without additional source of light. The photobioreactor was filled with 1 liter cultured NO, and it was fed with CO₂ – air mixture 3, 9, 15% and fixed salinity. The concentration of CO₂ output was measured daily. The results shown that salinity and CO₂ – air concentration has significant effect on CO₂ absorption of NO. The most suitable CO₂ – air input is 9% and salinity of 40 ppt.

Keywords: global warming, *Nannochloropsis oculata*, CO₂ concentration, salinity

Pendahuluan

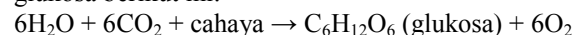
Penggunaan bahan bakar fosil (minyak, gas dan batubara), penebangan pohon, penggundulan hutan, dan pembakaran lahan juga turut menyumbang gas rumah kaca (Meiviana *et al*, 2004). Padahal hutan memiliki peranan yang sangat penting dalam mengurangi emisi terutama gas karbondioksida.

Peningkatan kadar gas CO₂ di atmosfer yang terjadi cukup signifikan selama 150 tahun terakhir sejak Revolusi Industri dari 280 ppm menjadi 379 ppm pada tahun 2007 (wikipedia, 2009). Sedangkan, pada tahun 2008 kadar CO₂ tercatat sebesar 383ppm (nrw,2008).

Peningkatan gas karbon dioksida (gas rumah kaca) akan mempengaruhi temperatur bumi. Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0.74 \pm 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32 \text{ }^{\circ}\text{F}$) selama seratus tahun terakhir. [Intergovernmental Panel on Climate Change](#) (IPCC) menyimpulkan bahwa sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi [gas-gas rumah kaca](#) akibat aktivitas manusia. (wikipedia, 2009)

Nannochloropsis oculata merupakan fitoplankton yang dapat hidup di air laut, tidak berflagel, berwarna kehijauan, selnya berbentuk bola, dan berdiameter antara 2 - 4 μm. Mikroalga ini terpisah dengan divis *Nannochloris* karena tidak terkandungnya *chlorophyll b* dalam tubuhnya (<http://tghnul.wordpress.com/>; 2009). Meskipun demikian mikroalga ini masuk ke dalam golongan alga fotoautotrof karena dapat melangsungkan fotosintesis seperti tumbuhan makro pada umumnya. Selain itu alga jenis *Nannochloropsis oculata* ini mudah ditemukan di perairan Indonesia.

Fotosintesis adalah suatu proses [biokimia](#) yang dilakukan [tumbuhan](#), [alga](#), dan beberapa jenis [bakteri](#) untuk memproduksi energi terpakai (nutrisi) dengan memanfaatkan energi cahaya. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi [karbon](#) karena dalam fotosintesis karbon bebas dari [CO₂](#) diikat (difiksasi) menjadi [gula](#) sebagai molekul penyimpan energi. Tumbuhan bersifat autotrof. Autotrof artinya dapat mensintesis makanan langsung dari senyawa anorganik. Tumbuhan menggunakan [karbon dioksida](#) dan [air](#) untuk menghasilkan [gula](#) dan [oksigen](#) yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Perhatikan persamaan reaksi yang menghasilkan glukosa berikut ini:



Salinitas adalah faktor yang penting dalam kehidupan mikroalga, mikroalga *Nannochloropsis oculata* mempunyai toleransi terhadap kadar salinitas lingkungannya. Salinitas sendiri memiliki definisi sebagai tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Air laut secara alami merupakan air saline yang memiliki kandungan garam sekitar 3-5%. (Wikipedia,2010)

Salinitas berpengaruh terhadap penyebaran dan kelimpahan organisme di suatu daerah perairan pantai. Tinggi rendahnya salinitas dipengaruhi oleh curah hujan dan penguapan yang berlebihan serta masuknya air tawar dari sungai-sungai (Kresno Yulianto, hal 39;1989). *Nannochloropsis oculata* dapat hidup pada salinitas 30 ppt (Ismi,1996).

Fotobioreaktor turbular terbuat dari pipa transparan seperti plastik atau gelas yang memiliki diameter kurang dari 0,1 m. Diameter pada fotobioreaktor tidak dibuat besar karena

dikhawatirkan cahaya tidak dapat menjangkau daerah yang terlampaui dalam. Pengkulturan dengan menggunakan fotobioreaktor ini sangat baik karena berlangsung secara tertutup, sehingga dapat menghindari kontaminasi dari luar (Khan,2008).

Metodologi

Penelitian dilakukan pada sistem tertutup dengan menggunakan fotobioreaktor dan matahari sebagai sumber cahaya. Adapun bahan yang dibutuhkan adalah alga *Nannochloropsis oculata*, air laut, gas CO₂, udara, pupuk *conwy*, larutan Ca(OH)₂, *aquadest*, larutan *buffer*, dan NaCl. Sedangkan alat yang digunakan adalah tabung fotobioreaktor, aerator, gelas ukur, gelas kimia, *flowmeter* gas, CO₂ *regulator*, selang, *luxmeter*, tabung pembagi aliran gas dan refraktometer salinitas.

Umumnya salinitas air laut yang ada di lautan Lampung memiliki kisaran salinitas antara 30 ppt sampai dengan 32 ppt. Sebagai contoh untuk salinitas 30 ppt dapat diartikan sebagai 30 gram garam yang terkandung dalam setiap 1000 mL air laut. Dengan demikian, untuk meningkatkan salinitas air laut menjadi 40 ppt, maka harus ditambahkan garam NaCl sebanyak 10 gram pada setiap liter air laut yang digunakan.

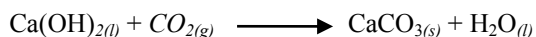
Sebaliknya untuk menurunkan salinitas dapat dilakukan dengan menambahkan volume air tawar (dalam hal ini kami menggunakan *aquadest*) sesuai dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} 20 \text{ ppt} &= 20 \text{ gr garam} / 1000 \text{ mL air laut} \\ (20 \text{ gr} / 1000 \text{ mL}) &= (30 \text{ gr} / x \text{ mL}) \\ x &= 30 \text{ gr} [1000 \text{ mL} / 20 \text{ gr}] \\ x &= 1500 \text{ mL} \end{aligned}$$

jumlah volum air tanpa garam yang harus ditambahkan pada setiap liter air laut dengan salinitas 30 ppt adalah 1500 mL – 1000 mL = 500 mL.

Sehingga, untuk menurunkan salinitas 30 ppt menjadi 20 ppt maka ditambahkan 500 mL air tawar untuk setiap liter air laut dengan salinitas 30 ppt.

Prosedur kerja yang dilakukan adalah rangkai aliran gas dari tabung gas CO₂ dan aerator ke *flowmeter* yang berguna untuk mengatur laju alirnya. Setelah dari *flowmeter* gas dialirkan ke tabung pembagi laju alir sebelum dialirkan ke fotobioreaktor. Selain itu, ukur juga intensitas cahaya matahari dengan menggunakan *luxmeter*. Atur laju alir gas CO₂ dengan laju alir total kemudian dikalikan 100 maka diperoleh konsentrasi CO₂ yang diinginkan dalam satuan persen (%). Sambungkan aliran gas dari tabung pembagi gas ke fotobioreaktor. Ukur kadar CO₂ *input* dengan larutan Ca(OH)₂, dilakukan saat fotobioreaktor dalam keadaan kosong. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan mereaksikan gas selama 5 menit pada laju alir 1 Liter/menit di aliran yang akan masuk fotobioreaktor dengan 20 mL larutan Ca(OH)₂ 1 M untuk diambil nilai pH-nya. Hal ini ditunjukkan oleh reaksi :



setiap fotobioreaktor diisi dengan 1 liter kultur biakan yang terdiri dari 800 ml air laut (media kultur) dan 200 ml bibit alga. Ukur konsentrasi CO₂ keluaran setelah fotobioreaktor terisi oleh alga dan media kultur. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan cara direaksikan dengan 20 ml larutan Ca(OH)₂ 1 M selama 5 menit pada laju alir keluaran tertentu untuk diambil nilai pH-nya. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi CO₂ yang tereduksi oleh alga dengan interval waktu 1 hari. Analisa ini dilakukan dari hari ke-0 sampai diperoleh nilai penyerapan CO₂ pada usia alga tertentu (hari ke-n). Persentase penyerapan konsentrasi CO₂ diperoleh dengan cara :

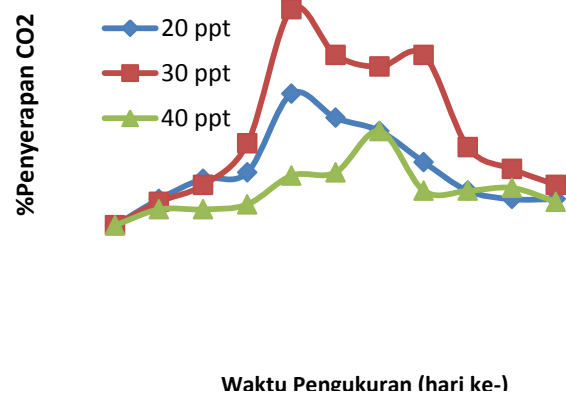
$$\% \text{penyerapan CO}_2 = \frac{\text{mol}_{\text{CO}_2 \text{ awal}} - \text{mol}_{\text{CO}_2 \text{ akhir}}}{\text{mol}_{\text{CO}_2 \text{ awal}}} \times 100\%$$

Dengan cara di atas maka akan diketahui jumlah penyerapan CO₂ setiap interval waktu.

Hasil dan Pembahasan

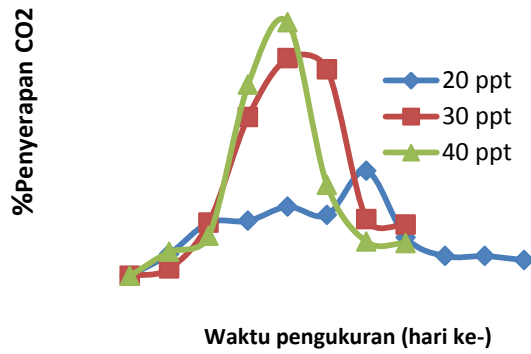
Pada konsentrasi masukan CO₂ 3% harus dilakukan pada selang waktu yang berdekatan, hal ini dikarenakan siklus hidup dari *Nannochloropsis oculata* yang sangat cepat. Gambar 1. menunjukkan besar CO₂ yang mampu direduksi oleh alga pada konsentrasi CO₂ masukan 3% dengan berbagai variasi salinitas air serta persentase penyerapan CO₂ -nya.

Pada Gambar 1. menunjukkan penyerapan tertinggi pada masing-masing variasi salinitas adalah 10% pada salinitas 20 ppt, 16% pada salinitas 30 ppt, dan 7% pada salinitas 40 ppt.



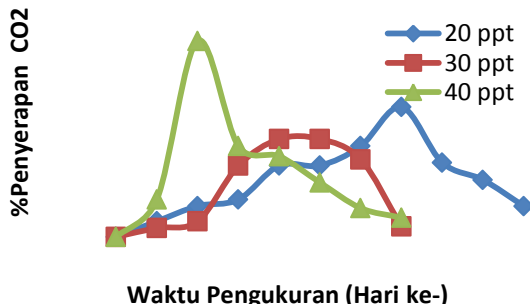
Gambar 1. Kurva Penyerapan Konsentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ Masukan 3 % dan Berbagai Variasi Salinitas

Sedangkan pada konsentrasi CO₂ masukan 9 dan 15%, rentang waktu pengukuran dibuat 1 hari sekali pengukuran. Data pengamatan untuk konsentrasi CO₂ masukan 9 dan 15 % disajikan dalam Gambar 2 dan 3 seperti di bawah ini.



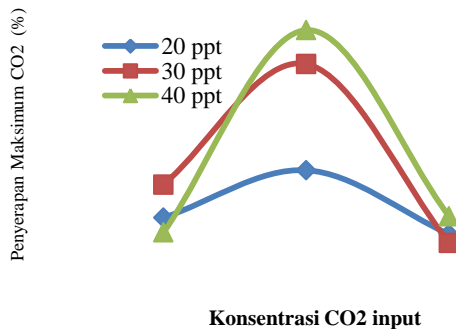
Gambar 2. Kurva Penyerapan Konsentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ Masukan 9 % dan Berbagai Variasi Salinitas

Pada kurva di atas agak sedikit berbeda dengan sebelumnya, yaitu penyerapan CO₂ terjadi peningkatan dengan adanya peningkatan salinitas media kulturnya. Penyerapan CO₂ tertinggi pada salinitas 20 ppt diperoleh 19%, pada salinitas 30 ppt diperoleh 39%, dan 40 ppt diperoleh 46%.



Gambar 3. Kurva Penyerapan Konsentrasi CO₂ pada konsentrasi CO₂ Masukan 15 % dan Berbagai Variasi Salinitas

Berdasarkan kurva di atas diperoleh penyerapan CO₂ tertinggi diperoleh 6% untuk salinitas 20 ppt, 5% untuk salinitas 30 ppt, dan 10% untuk salinitas 40 ppt.



Gambar 4. Kurva pengaruh konsentrasi CO₂ input dan salinitas media kultur terhadap penyerapan CO₂ pada *Nannochloropsis oculata*

Berdasarkan gambar di atas, pengaruh konsentrasi CO₂ input dan salinitas media kultur terhadap penyerapan CO₂ terlihat secara nyata bahwa penyerapan maksimum tertinggi dicapai oleh

Nannochloropsis oculata pada konsentrasi CO₂ input 9 % dengan salinitas 40 %.

Adanya perbedaan konsentrasi CO₂ masukan dan salinitas air yang digunakan sebagai media kultur juga diperoleh hasil yang bervariasi pula.

Sempat terjadi kesulitan dalam melakukan penelitian untuk konsentrasi masukan CO₂ 3% dengan semua variasi salinitas yaitu 20, 30, 40 ppt. Karena siklus hidup alga menjadi lebih cepat. Pada hari ke-3 alga telah berada pada fasa kematian yang ditunjukkan dengan perubahan warna kultur yang semula hijau menjadi putih dengan disertai lendir sehingga CO₂ yang masuk tak mampu terfiksasi lagi oleh alga. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya konsentrasi CO₂ dalam air akan mempengaruhi temperatur air tersebut. Semakin besar konsentrasi CO₂ yang masuk dalam kultur maka temperaturnya akan semakin rendah (Tabel 1). Selain itu, faktor intensitas cahaya matahari juga sangat mempengaruhi. Pada saat cuaca cerah intensitas cahaya matahari bisa mencapai lebih dari 72.000 lux dan suhu lingkungan juga cukup tinggi. Sehingga alga akan lebih cepat mati dan tak mampu untuk menyerap gas CO₂ dan berfotosintesis.

Tabel 1. Hubungan Karbondioksida dalam air dengan Suhu

| Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) | Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) | Suhu (°C) | CO ₂ (mg/L) |
|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| 0 | 1.10 | 11 | 0.74 | 21 | 0.54 |
| 1 | 1.06 | 12 | 0.72 | 22 | 0.52 |
| 2 | 1.02 | 13 | 0.69 | 23 | 0.51 |
| 3 | 0.99 | 14 | 0.67 | 24 | 0.50 |
| 4 | 0.94 | 15 | 0.65 | 25 | 0.48 |
| 5 | 0.91 | 16 | 0.62 | 26 | 0.46 |
| 6 | 0.88 | 17 | 0.60 | 27 | 0.45 |
| 7 | 0.86 | 18 | 0.59 | 28 | 0.44 |
| 8 | 0.82 | 19 | 0.58 | 29 | 0.43 |
| 9 | 0.79 | 20 | 0.56 | 30 | 0.42 |
| 10 | 0.76 | | | | |

(Sumber : <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18272/4/Chapter%2011.pdf>)

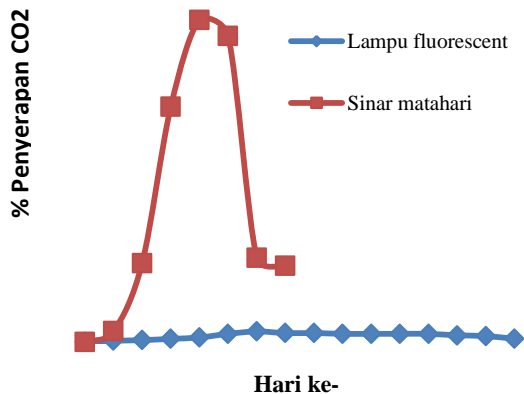
Pertumbuhan alga sendiri mencapai kepadatan yang sangat baik pada konsentrasi CO₂ masukan 15% pada salinitas 20 ppt, dan pada konsentrasi CO₂ masukan 9% dengan salinitas 20 ppt. Sementara untuk konsentrasi CO₂ masukan 3% untuk semua variasi tak memberikan perubahan warna hijau yang lebih pekat bahkan warna kultur cepat memutih.

Dengan demikian, alga jenis *Nannochloropsis oculata* sangatlah baik jika dikembangkan di daerah atau kawasan industri yang memiliki konsentrasi buangan CO₂ di atas 9% sebagai upaya mengurangi emisi gas buang CO₂ ke lingkungan. Selain itu, penggunaan cahaya matahari sebagai sumber cahaya dapat membantu mengurangi penggunaan energi terutama energi listrik.

Penguapan air kultur juga terjadi akibat paparan sinar matahari sehingga air pada kultur menguap dan ikut terbawa oleh gas buang pada fotobioreaktor. Hal ini sulit dihindari sehingga menyebabkan pengurangan jumlah media kultur dan

mengakibatkan naiknya salinitas air pada media kultur. Semakin tingginya salinitas media kultur ini sulit untuk ditoleransi oleh alga, sehingga kemampuan alga dalam menyerap CO₂ semakin rendah.

Adapun perbandingan hasil penelitian yang penulis lakukan dengan peneliti lain, yaitu hasil penelitian dari Subiyantoro pada konsentrasi CO₂ 15% dan salinitas 40 ppt yang menggunakan lampu *fluorescent* sebagai sumber cahaya. Perbedaan ini ditunjukkan pada Gambar 5 seperti di bawah ini :



Gambar 5. Kurva Perbandingan Penyerapan CO₂ antara Penggunaan Lampu *Fluorescent* dan Sinar matahari sebagai Sumber Cahaya pada Salinitas 40 ppt dan 15% CO₂ masukan

Gambar 5 menunjukkan penyerapan maksimum terjadi pada hari ke-6 untuk pencahayaan menggunakan lampu *fluorescent*, sedangkan untuk pencahayaan dengan menggunakan sinar matahari penyerapan CO₂ terjadi lebih singkat yaitu pada hari ke-2. Penyinaran dengan lampu *fluorescent* dan sinar matahari mampu menyerap CO₂ masing-masing sebesar 1,3% dan 10,3%.

Sehingga berdasarkan perbandingan pada gambar di atas dapat terlihat bahwa penyerapan CO₂ paling efektif yaitu dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber cahaya. Selain karena mampu menyerap CO₂ dalam jumlah yang lebih besar, dengan perlakuan ini penyerapan CO₂ maksimumnya berlangsung lebih singkat dibandingkan dengan perlakuan dengan menggunakan lampu *fluorescent*.

Kesimpulan

Adapun beberapa simpulan yang dapat diambil, yaitu alga jenis *Nannochloropsis oculata* memiliki potensi dalam mengurangi emisi gas CO₂ pada variasi kadar CO₂ hingga 15% dengan cahaya matahari sebagai sumber cahayanya, sehingga pengkulturannya ini sangat *applicable* untuk dikembangkan di kawasan industri yang memiliki gas CO₂ buang di atas 9%. Kemampuan alga *Nannochloropsis oculata* tertinggi yang ditandai dengan penurunan konsentrasi CO₂ sebesar 46% yang terjadi pada konsentrasi CO₂ masukan 9%

dengan salinitas kultur 40 ppt. Semakin kecil konsentrasi CO₂ masuknya maka semakin cepat alga mencapai penyerapan maksimalnya. Untuk konsentrasi CO₂ masukan 9% dan 15 %, semakin tinggi salinitas media kultur alga maka semakin tinggi pula gas CO₂ yang terserap.

Daftar Pustaka

- Converti, A *et al.* 2009. "Effect of Temperature & Nitrogen Concentration on The Growth and Lipid Content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for Biodiesel Production". Chemical Engineering Production
http://en.wikipedia.org/wiki/Algae_fuel
diakses pada tanggal 13 September 2009 pukul 10:55 WIB
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Fotosintesis>
diakses pada tanggal 2 Agustus 2009 pada Pukul 15:10 WIB
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Salinitas> diakses pada tanggal 14 Juli 2010 pukul 19:41 WIB
- <http://nrw.com/> diakses pada tanggal 23 Agustus 2009
- <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18272/4/Chapter%20II.pdf> diakses pada tanggal 14 Juli 2010 pukul 20:08 WIB
- <http://tghnul.wordpress.com/2008/12/19/10/> diakses pada tanggal 23 Agustus 2009 pukul 15:45 WIB
- Ismi, Suko. 1996. *Perkembangan Populasi Nannochloropsis oculata pada Suhu dan Salinitas yang Berbeda*. Bali: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya.
- Khan, A Shakeel *et al.* 2008. *Algae a Novel Source of Renewable Energy and Carbon Sequestration*. New Delhi: Indian Agriculture Research Institute.
- Meiviana, A *et al.* 2004. *Bumi Makin Panas Ancaman Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Subiyantoro. 2011. "Penentuan Waktu Optimal Penyerapan CO₂ pada Berbagai Konsentrasi dan Salinitas Berbeda dengan Menggunakan *Nannochloropsis oculata* dalam Fotobioreaktor". *Laporan Hasil Penelitian Jurusan Teknik Kimia*. Universitas Lampung
- Yulianto, Kresno. 1989. *Pengaruh Penurunan Salinitas terhadap Laju Fotosintesa Algae Hijau (Caulenpa serrulata FORSK) J. AGARDH dan Valonia aegagropila C. AGARDH*. Ambon: LIPI. Hal.39

PENGARUH KETEBALAN SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN ALIRAN SILANG (*CROSS FLOW*) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Agus Sugiri

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35148

Email : agussugiri@yahoo.co.id

Design and fabrication runner of cross-flow turbine had significant effects on the efficiency. Things must be considered in the designing and constructing runner of cross-flow turbine were the blade quantity, blade thickness, blade curvature, and profile form of blade. This study was conducted to know the effect of blade thickness to the efficiency of the cross-flow turbine. It was expected that the study results could be used as consideration matters to determine the blade thickness of the suitable runner in order to reach the works of turbine optimally. The study was performed by applying the experimental study using the runner of 80 mm in diameter, 130 mm in length, 20 blades with the thickness of 1.5 mm; 2 mm; and 2.5 mm. The test was performed in the system of power generator of microhydro model drums (PTMMD: Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum). The applied water high in the test were 2.1 m; 2.3 m; and 2.5 m. Rotation of runner was measured by tachometer, output electric power was measured by powermeter, and torsion was measured torquemeter. The study results showed that the blade thickness had the significant effect to the efficiency. Tests using head/high of water surfaces of 2.1 m; 2.3 m; and 2.5 m showed the biggest efficiency of turbine that was occurred in the blade of 2 mm thickness. The highest efficiency of 83 %, was occurred in the test using the high of water surface or head of 2.5 m; and the blade thickness of 2 mm. The power generated by generator with head 2.5 m and the blade thickness of 2 mm was 70 watt.

Keywords: blade of runner, rotation, output power, efficiency

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 3 Tahun 2005 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik, bahwa penyediaan tenaga listrik dilakukan dengan memanfaatkan seoptimal mungkin sumber energi primer setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Dalam rangka diversifikasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan tersebut, pasokan tenaga listrik pada tahun 2020 menggunakan minimal 5 % berasal dari energi terbarukan.

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi yang ramah lingkungan dan terbarukan cukup besar. Salah satu jenis energi terbarukan tersebut adalah tenaga air skala kecil atau sering disebut mikrohidro atau pikohidro. Teknologi mikrohidro ini telah lama dikembangkan oleh masyarakat sebagai sumber energi di Indonesia. Persyaratan pokok pada sebuah PLTMH adalah cukup tersedianya kapasitas aliran air (*Debit*) dan tinggi jatuh air (*Head*). Air dikondisikan dengan teknik tertentu kemudian dialirkan ke dalam turbin sebagai penggerak mula. Bagian turbin yang disebut sudu-sudu (*Blade*) akan menerima aliran atau tumbukan air sehingga akan memutar poros roda jalan (*Runner*) turbin. Putaran poros *runner* turbin inilah yang akan ditransmisikan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan turbin terutama pada proses perancangan turbin aliran silang. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan ketebalan sudu roda jalan yang cocok agar kerja turbin menjadi optimal.

Tujuan Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini dibatasi pada ketebalan sudu roda jalan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap unjuk kerja turbin aliran silang. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui pengaruh ketebalan sudu roda jalan terhadap efisiensi turbin aliran silang.

TINJAUAN PUSTAKA

Sejak diciptakan pertama kali tahun 1903 oleh seorang insinyur Australia bernama Mitchell, turbin aliran silang telah banyak diteliti. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan unjuk kerja turbin aliran silang (*turbin crossflow*) yang lebih baik. Mitchell tidak membukukan hasil ciptaan turbin aliran silang secara lengkap. Kemudian Banki dari Hongaria mempublikasikan hasil percobaannya di Eropa mengenai turbin aliran silang di Jerman. Banki berhasil memperbaiki efisiensi turbin aliran

silang yang ditemukan Mitchell dengan cara pemakaian sudut serang yang lebih kecil dari sudut serang yang digunakan oleh Mitchell.

Pada tahun 1949 di Amerika, Mockmore dan Merryfield memperkenalkan turbin aliran silang, setelah melakukan studi mengenai turbin Banki dengan mengadakan eksperimen. Mereka menggunakan model yang memiliki ukuran roda jalan berdiameter 13,1 inchi, lebar 12 inchi, dan perbandingan antara diameter luar dan diameter dalam 0,66. Jumlah sudu yang dipilih adalah 20 buah. Efisiensi turbin yang mereka dapatkan sebesar 68% pada putaran poros turbin 270 rpm.

Haimerl pada tahun 1960 mengadakan pengujian turbin aliran silang dengan dilengkapi dengan pipa hisap (*draft tube*). Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa turbin aliran silang adalah bukan jenis turbin impuls murni. Sedangkan Nakase seorang ilmuwan Jepang pada tahun 1982 melakukan studi tentang pengaruh bentuk kurva dan besarnya daerah semburan (*entry arc*) terhadap efisiensi turbin aliran silang. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah runner dengan diameter 315 mm, lebar 315 mm, perbandingan diameter dalam dan diameter luar roda jalan sebesar 0,68 dan jumlah sudu sebanyak 26 buah. Tiga macam bentuk kurva dinding bagian dalam atap pipa pancar masing-masing diuji dengan empat macam busur lengkung semburan (*entry arc*) yang berbeda, yaitu : 30, 60, 90, 120 derajat. Dari hasil eksperimen tersebut mereka menemukan bahwa efisiensi tertinggi sebesar 83% dicapai oleh pipa pancar dengan busur lengkung sembur 90 derajat.

Soenoko pada tahun 1992 menyarankan tentang desain turbin aliran silang bahwa untuk meningkatkan unjuk kerja adalah dengan merubah konstruksi pipa pancar, posisi kedudukan pipa pancar dan jumlah sudu yang ditumbuk oleh jet. Selanjutnya pada penelitian berikutnya Soenoko (1997) mengadakan optimasi pada rancangan dengan mengatur arah pipa pancar dan diteruskan dengan eksperimen pada model diperoleh unjuk kerja yang lebih baik.

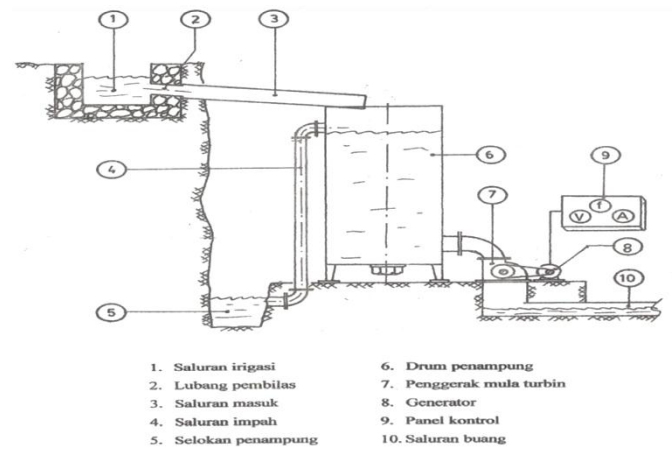
Sedangkan Winardi pada tahun 2003 melakukan penelitian pengaruh jumlah sudu roda jalan terhadap unjuk kerja turbin aliran silang. Hasil penelitian menunjukkan semakin meningkat jumlah sudunya unjuk kerja semakin tinggi, kemudian menurun setelah melewati jumlah sudu tertentu.

METODOLOGI PENELITIAN

Materi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan eksperimen yang meliputi tahap perencanaan, membuat alat, sampai dengan menguji alat sehingga menghasilkan efisiensi turbin *crossflow* yang tertinggi. Pengujian turbin *crossflow* dengan variasi tebal sudu dari 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm dengan jumlah sudu 20, diameter *runner* 80 mm dan panjang 130 mm.

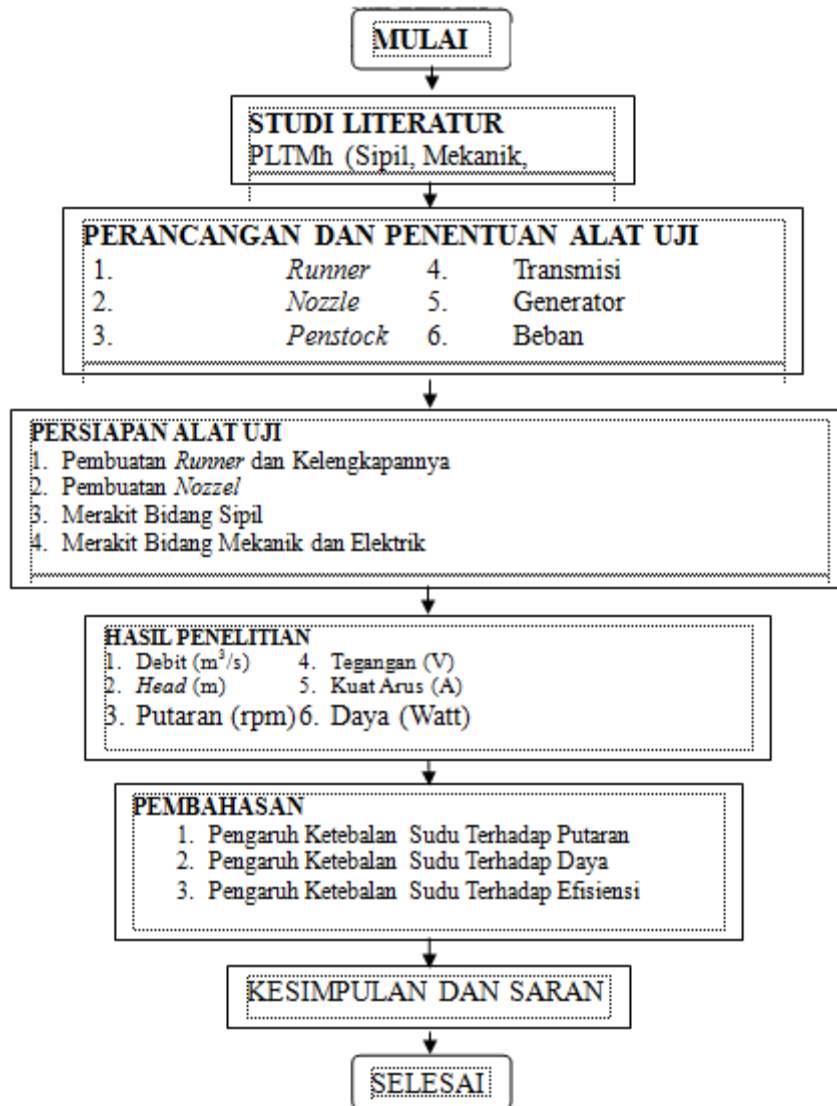
Alat Penelitian



Gambar 1 Skema Alat Uji Penelitian

Batasan Penelitian

Pengujian efisiensi turbin *crossflow* dengan variasi ketebalan sudu yaitu 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm dengan jumlah sudu 20 sudu, variasi ketinggian (*head*) 2,1 m, 2,3 m dan 2,5 m sehingga akan didapatkan daya yang dibangkitkan (P) dan efisiensi turbin *crossflow*. Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai jalannya proses penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir penelitian seperti gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi dan pengujian turbin dilakukan di sistem PLTMH saluran irigasi Kalibawang Dusun Kedungrong Desa Purwoharjo Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dasar-dasar Pengujian

Pengujian efisiensi turbin *cross flow* dengan variasi ketebalan sudu 1,5 mm, 2 mm dan 2,5 mm pada sistem PLTMH dan variasi ketinggian (*Head*) 2,1 m, 2,3 m dan 2,5 m dengan spesifikasi ukuran, jenis bahan yang tepat untuk setiap komponen penggerak mula turbin. Acuan awal yang menjadi dasar perencanaan adalah debit turbin, *head* turbin dan efisiensi turbin dengan potensi sebagai berikut:

Q_t = Debit turbin = 20 lt/s = 0,02 m³/s (asumsi perencanaan)

H_t = *Head* turbin = 2,5 m

η_t = Efisiensi turbin = 75% (asumsi perencanaan)

Daya Yang Dibangkitkan Turbin (N_t)

Daya yang dibangkitkan turbin dapat diketahui dengan rumus,

$$N_t = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t \cdot \eta_t \quad (4.1)$$

$$N_t = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 0,75$$

$$N_t = 368 \text{ Nm/det}$$

$$N_t = 368 \text{ joule/det}$$

$$N_t = 368 \text{ Watt}$$

$$N_t = 0,368 \text{ kW}$$

Uji Efisiensi Sistem Pembangkit

Dalam pengujian efisiensi ini, penggerak mula Turbin *Cross Flow* digunakan untuk menggerakkan motor induksi sebagai generator dengan debit maksimum air masuk turbin 10,4 lt/det. Pengukuran menggunakan *powermeter*, karakteristik listrik yang dihasilkan generator seperti pada tabel berikut.

| No | Karakteristik listrik | Nilai |
|----|---------------------------------|-------------|
| 1. | Daya | 70 Watt |
| 2. | Tegangan | 199 Volt |
| 3. | Arus | 0,4 A |
| 4. | Cos φ | 1 |
| 5. | Frekwensi | 50 Hz |
| 6. | Putaran generator | 1740 rpm |
| 7. | Putaran turbin | 1049 rpm |
| 8. | Debit maksimum air masuk turbin | 10,4 lt/det |

berhenti berputar. Selanjutnya torsi yang terjadi dapat dicari dengan rumus,

$$T = F_g \cdot r \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana, r = jari-jari puli turbin
 $r = 127 \text{ mm}/2 = 0,0635 \text{ m}$

Tabel 1 Karakteristik Listrik yang Dibangkitkan Generator

Selanjutnya efisiensi sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin *Cross Flow* (η_{sp}) dapat diketahui dengan rumus,

$$\eta_{sp} = (N_g / N_p) \cdot 100\% \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana, N_g = daya yang dibangkitkan generator = 70 Watt

N_p = daya potensi air yang dapat dibangkitkan dengan kondisi debit riil maksimum 10,4 lt/det

$$N_p = \rho_{air} \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t \dots \dots \dots (4.4)$$

ρ_{air} = rapat massa air = 1.000 kgm/m³

Q_t = debit riil turbin = 10,4 lt/det

H_t = head turbin = 2,5 m

Maka, $N_p = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,0104 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$

$$N_p = 255 \text{ Watt}$$

Maka efisiensi riil sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin *Cross Flow* adalah: $\eta_{sp} = (70 \text{ Watt} / 255 \text{ Watt}) \cdot 100\%$

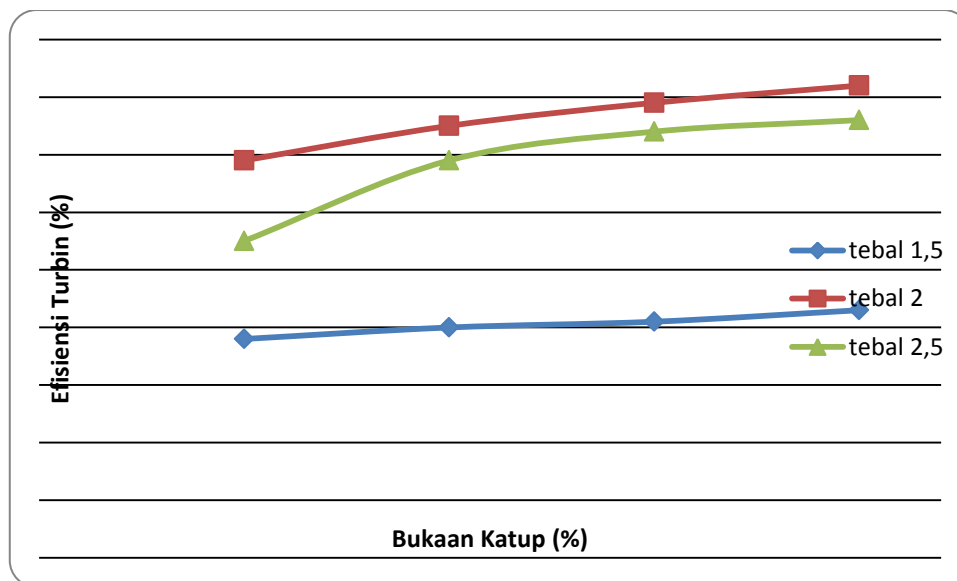
$$\eta_{sp} = 27,5\%$$

Uji Efisiensi Penggerak Mula Turbin *Cross Flow*

Pengujian efisiensi penggerak mula Turbin *Cross Flow* dilakukan dengan mekanisme pengereman guna mengetahui torsi yang dibangkitkan *runner* turbin. Komponen penting dalam proses pengereman adalah belt atau tali rem yang dipasang melingkari puli yaitu setengah lingkaran puli atau sudut kontak $\theta = 180^\circ$. Kedua ujung *belt* dihubungkan dengan timbangan pegas, salah satu pengait timbangan pegas tersebut dipasang tetap sementara pengait timbangan satu lagi akan mendapat perlakuan tarik (lihat Gambar 4.1). Pada proses pengereman akan timbul gaya tarik F_{ta} dan gaya tekan F_{te} , Selisih antara F_{ta} dan F_{te} itulah gaya pengereman atau gaya gesek (F_g). Nilai F_{ta} dan F_{te} yang dijadikan acuan dalam pengukuran ialah pada posisi sesaat *runner* turbin

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Efisiensi Turbin *Cross Flow* untuk Empat Posisi Bukaannya dengan Ketebalan Sudu 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm dan *Head* Turbin 2,5 m

| Tebal Sudu <i>Runner</i> (mm) | Katup (%) | Daya air (Watt) | Daya real (Watt) | η Turbin (%) |
|-------------------------------|-----------|-----------------|------------------|-------------------|
| 1,5 mm | 25 | 92,3 | 36 | 39 |
| | 50 | 168 | 67 | 40 |
| | 75 | 227 | 95 | 42 |
| | 100 | 307,8 | 136 | 44 |
| 2 mm | 25 | 72,1 | 50 | 69 |
| | 50 | 105,7 | 80 | 75 |
| | 75 | 167,9 | 134 | 80 |
| | 100 | 227 | 188 | 83 |
| 2,5 mm | 25 | 56,4 | 31 | 55 |
| | 50 | 112,4 | 79 | 70 |
| | 75 | 144 | 107 | 74 |
| | 100 | 196,5 | 149 | 76 |



Gambar 3 Grafik Karakteristik Efisiensi Turbin Terhadap Katub Bukaannya Dari Tebal Sudu 1,5 mm, 2 mm dan 2,5 mm pada Tinggi Turbin 2,5 meter

Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa efisiensi turbin terbesar (83%) terjadi pada ketebalan sudu 2 mm pada pengujian dengan variasi head 2,5 meter dengan bukanya katup penuh. Efisiensi turbin adalah perbandingan daya real (N) dengan daya potensi air (N_p). Dimana

$$N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T$$

$$N_p = \rho_{air} \cdot g \cdot Q \cdot H_t$$
 Daya real turbin dipengaruhi oleh putaran *runner* dan torsi turbin. Semakin besar putaran dan torsi turbin maka daya real juga membesar. Sedangkan daya potensi air sangat dipengaruhi oleh debit dan ketinggian (*head*) turbin. Semakin besar debit dan

ketinggian turbin maka daya potensi air juga meningkat.

KESIMPULAN, SARAN DAN DAFTAR PUSTAKA

Kesimpulan

Hasil pengujian efisiensi *runner* turbin *cross flow* dengan variasi ketebalan sudu *runner* 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm menunjukkan bahwa *runner* dengan ketebalan sudu 2 mm memiliki efisiensi yang paling tinggi sebesar 83 % pada putaran 1049 rpm dan debit riil 10,4 lt dan tinggi muka air (*Head*) 2,5 m. Bila dibandingkan dengan ketebalan sudu

yang lain (1,5 mm dan 2,5 mm) maka efisiensi turbin dengan ketebalan sudu 2 mm yang paling tinggi, hal ini disebabkan karena :

1. Ketebalan sudu yang tipis tidak menghasilkan efisiensi turbin yang baik (cenderung rendah) karena *loses* (kerugian) semakin besar sehingga efisiensinya juga kecil.
2. Ketebalan sudu yang tebal tidak menghasilkan efisiensi yang baik karena semakin tebal sudunya semakin rapat celah *runner* yang akan mempengaruhi debit keluaran air yang masuk turbin sehingga efisiensi tidak maksimal.
3. Daya riil yang dihasilkan turbin dengan ketebalan sudu 2 mm mendekati daya potensi yang menghasilkan efisiensi sebesar 83 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Arter A, Meier U., 1990, *Hydraulics Engineering Manual*, H. Harrer, St. Gallen, Switzerland
- Bachrudin, R.A., 2002, *Kebijakan Pemberdayaan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) di Kawasan Timur Indonesia*, Makalah disampaikan pada Workshop Pengembangan Mikrohidro di Indonesia, Jakarta, 27-28 Agustus 2002.
- Bachtiar, A. N., 1988, *Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pedesaan*, Tugas Akhir, Padang
- Berahim H, 1994, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Andy Offset, Yogyakarta.
- Dietzel F., 1996, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- IBEKA, 2002, *Panduan Pemasangan, Pengoperasian dan Perawatan Turbin Cross Flow*, Yayasan Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan, Bandung.
- Ismono H.A., 1999, *Perencanaan Turbin Air Tipe Cross Flow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* di Institut Teknologi Nasional Malang, Skripsi.
- Inversin AR., 1986, *Micro-Hydropower Sourcesbook*, National Rural Electric Cooperative Association, Washington, D.C., USA
- Mockmore C.A., Merryfield Fred, 1949, *The Banki Water Turbine*, Bulletin Series No. 25, Engineering Experimental Station, Oregon State System of Higher Education, Oregon State College, Corvallis.
- Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, 2001, *Petunjuk Penulisan Usulan Penelitian dan Tesis*, Yogyakarta.
- Patty O.F., 1995, *Tenaga Air*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soekarno H., Anggono T., Heriansyah A., 2002, *Komponen Dasar dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Mikrohidro*, Publikasi P3TEK, Vol. 1, No. 1, Hal. 8, Jakarta.
- Soenoko, R., 1992, *Desain Turbin Arus Lintang di Indonesia*, Fakultas Teknik Unibraw, Jurnal Vol. 1 No. 2 Desember 1992.
- Soenoko, R., 1997, *Optimasi Perancangan Turbin Arus Lintang*, Fakultas Teknik Unibraw, Jurnal Vol. IV No. 8 Agustus 1997
- Sularso, Kiyokatsu S., 1987, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sutikno D., 1992, *Turbin Cross Flow (Studi Eksperimental)*, Fakultas Teknik Unibraw, Jurnal Vol. 1 No. 1 Agustus 1992
- Triatmojo B., 1996, *Hidrolika II*, Edisi Kedua, Beta Offset, Yogyakarta.
- Winardi, 2003, *Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang*, Tesis Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Yusgiantoro P, 2002, *Keputusan Menteri ESDM tentang Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Energi dan Ketenagalistrikan (P3TEK), Jakarta

APLIKASI ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI ADSORBEN UDARA PEMBAKARAN UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH

HerryWardono

Jurusan Teknik Mesin - Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145
Telp. 08197947338, e-mail: herry@unila.ac.id

ABSTRACT

Energy crisis is now being faced by all people. This due to the dependence of human beings upon the fuel in order to ease and accelerate their activities. Consequently, there are many queues for fuels at many SPBUs in Indonesia everyday. Use of an environmentally combustion air filter technology that utilizes abundant natural resources, especially in Lampung province, namely coconut shell charcoal that has an ability to adsorb water vapor in combustion air, is capable to cope with this crisis. This charcoal was firstly made into powder before modifying it into pellet of 5 and 10 mm in diameter, with 3 mm in thickness. Experiments were performed to observe fuel consumption of a 4-stroke petrol motorcycle at road test of 5 kph for 5 km, and stationary test of 1500, 2500, and 4000 rpm, as well as its acceleration at 0-80 and 40-80 km/h. All tests were performed for 35, 40, and 45 gram coconut shell charcoal. Results show use of this charcoal could reduce fuel consumption up to 24.36% at road test, and 29.30% at stationary test of 4000 rpm. The increase of acceleration also occurred for about 13% at 0-80 km/h, and 20.69% at 40-80 km/h.

Keywords: *Oxygen-rich combustion, Coconut shell charcoal adsorbent, Combustion air treatment.*

PENDAHULUAN

Isu krisis energi dan polusi udara oleh motor bakar (khususnya kendaraan bermotor) merupakan permasalahan besar yang harus segera dicarikan solusinya. Kelangkaan BBM menyebabkan harga minyak dunia melambung tinggi, sehingga Pemerintah RI pada April 2012 merencanakan menaikkan harga BBM bersubsidi, namun rencana ini tidak disetujui DPR RI. Pemerintah RI akhirnya memutuskan membatasi suplai BBM di semua Propinsi. Akibatnya, banyak ditemui antrian masyarakat di banyak SPBU dikarenakan ketergantungan masyarakat akan BBM demi kelancaran dan kemudahan pelaksanaan aktivitas mereka.

Berbagai upaya untuk mengatasi kelangkaan BBM ini telah, sedang, dan terus dilakukan oleh banyak pihak, diantaranya mencari bahan bakar alternatif, dan menyaring udara pembakaran (menangkap komponen pengganggu proses pembakaran, yaitu nitrogen dan uap air), Wardono (2007). Penyaringan udara konvensional tidak dapat menyaring gas-gas pengganggu yang terkandung di dalam udara, namun hanya dapat menyaring partikel-partikel debu atau pun kotoran-kotoran yang tampak oleh mata. Salah satu adsorben yang mampu menangkap nitrogen, terutama uap air dalam udara adalah arang tempurung kelapa. Dengan meletakkan arang tempurung kelapa pada saringan udara kendaraan bermotor, maka akan diperoleh udara pembakaran yang kaya oksigen.

Arang tempurung kelapa adalah arang yang menghasilkan karbon dengan pori-pori lebih terbuka. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang luas dan berongga dengan struktur yang berlapis. Hal ini menyebabkan arang

tempurung kelapa dapat menyerap gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Tjokrokusumo, 1995 dalam Basuki, 2008). Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berkisar antara 10-10000 Å. Pori-pori ini dapat menangkap dan menyerap partikel-partikel sangat halus, berukuran molekul (Basuki, 2008). Keberadaan air di dalam karbon (arang) berkaitan dengan sifat higroskopis dari arang, dimana umumnya arang memiliki sifat afinitas yang besar terhadap air. Arang mampu menyerap uap air dalam jumlah yang sangat besar (Ikawati, 2002).

Arang tempurung kelapa mudah didapatkan karena Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa yang utama di dunia. Luas perkebunan kelapa di Indonesia sebagian besar adalah perkebunan rakyat. Pada tahun 2011, areal tanaman kelapa di Indonesia tercatat seluas 3,77 juta ha, didominasi oleh perkebunan rakyat (98,1%) dan oleh perusahaan perkebunan besar (1,8%), ICN (2011). Khusus Propinsi Lampung, luas areal tanaman kelapa terbesar diperoleh pada kabupaten Lampung Selatan yang mencapai 34.500 ha, dengan kapasitas produksi sebesar 50.000 ton pada tahun 2011 (Yazid, 2012). Hasil produksinya tidak hanya untuk kebutuhan daerah itu tetapi juga luar daerah seperti Bandar Lampung bahkan diekspor. Semakin besar produksi kelapa yang dihasilkan maka limbah tempurung kelapa yang dihasilkan juga semakin besar. Pemanfaatan limbah tempurung kelapa saat ini sebagian besar dijadikan arang untuk bahan bakar. Pemanfaatan arang tempurung kelapa pada banyak banyak aplikasi, tentunya akan menambah nilai ekonomis dari arang tempurung kelapa tersebut. Disamping ketersediaan arang tempurung

kelapa yang melimpah, pembuatan adsorben udara pembakaran dari pelet arang tempurung kelapa yang diteliti ini juga sangat mudah dan murah. Selain itu, pemasangannya pada saringan udara kendaraan bermotor juga sangat mudah dan tidak memerlukan modifikasi mesin.

METODE PENELITIAN

Persiapan Pelet Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa pertama-tama dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Setelah tempurung kelapa kering, lalu dibersihkan dari serabut-serabutnya. Tempurung kelapa kemudian dimasukkan ke dalam tungku pembakaran yang terbuat dari drum bekas (gambar 1), dan dibakar secara perlahan-lahan sampai seluruh batok kelapa terbakar, memerah dan memiliki asap yang tebal. Setelah beberapa menit asap dari tungku pembakaran semakin menipis. Asap menipis sebagai pertanda bahwa pengarangan hampir selesai.



Gambar 1. Proses Pembuatan Arang Tempurung Kelapa (asap menebal dan menipis)

Setelah semua bahan terbakar, tungku ditutup menggunakan kain tebal atau dedaunan yang lebar. Selanjutnya penutupan terakhir dengan menggunakan tanah, lalu dibiarkan dingin alami selama kurang lebih 6 jam. Setelah arang sudah dingin, tutup tungku dibuka kemudian arang dikeluarkan dan dibersihkan dari kotoran serta disortir arang yang telah jadi sempurna dengan arang yang belum jadi. Arang yang sempurna adalah arang yang apabila dipatahkan akan kelihatan mengkilat (gambar 2).



Gambar 2. Proses Pendinginan dan Arang Yang Diperoleh

Arang tempurung kelapa kemudian dibersihkan, dan digiling hingga halus. Serbuk arang tempurung kelapa yang sudah halus disaring dengan menggunakan ayakan 100 mesh. Tepung arang tempurung kelapa selanjutnya dibentuk menjadi pelet, dengan cara mencampurkannya ke dalam adonan tepung tapioka. Adonan yang dibuat tidak terlalu encer dan tidak kering sehingga dapat dibentuk tablet dengan diameter 5 mm dan 10 mm dan tebal 3 mm. Kemudian pelet dipanaskan di

dalam oven pada 150°C (gambar 3). Pelet yang telah dipanaskan lalu dibungkus menggunakan kawat strimin yang dibentuk sesuai saringan udara sepeda motor dan massa pelet. Frame ini siap dipasangkan pada saringan udara sepeda motor (gambar 4).



Gambar 3. Proses Pembuatan Pelet Arang dan Arang Teraktivasi



Gambar 4. Frame Pelet Arang dan Pemasangannya Pada Saringan Udara Sepeda Motor

Prosedur Pengujian

Data yang diambil dalam pengujian ini adalah:

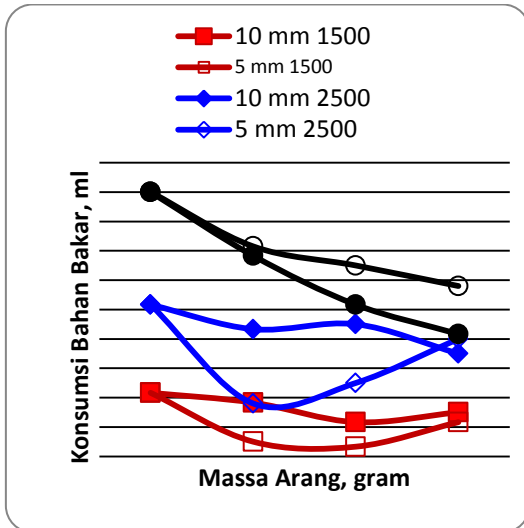
1. Pengujian konsumsi bahan bakar kondisi *stasioner* pada putaran mesin 1500 rpm, 2500 rpm, dan 4000 rpm selama 10 menit, serta kondisi road test pada kecepatan rata-rata 50 km/jam sejauh 5 km.
2. Pengujian akselerasi pada 0-80 km/jam dan 40-80 km/jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 5, 6, dan 7.

Pengujian Konsumsi bahan Bakar Pada Kondisi Stasioner

Konsumsi bahan bakar yang terjadi pada pengujian kondisi stasioner ditampilkan pada gambar 5.

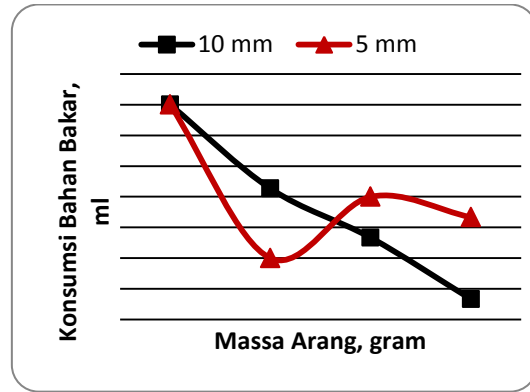


Gambar 5. Konsumsi Bahan Bakar Pada Uji Stasioner

Dari semua uji pada kondisi stasioner, penggunaan pelet arang tempurung kelapa memberikan penghematan konsumsi bahan bakar berkisar antara 3,46% hingga 18,9% (pada 1500 rpm), 5,25% hingga 26,56% (pada 2500 rpm), dan 11,21% hingga 29,3% (pada 4000 rpm), sebagaimana terlihat pada gambar 5. Variasi diameter pelet arang juga mempengaruhi penghematan konsumsi bahan bakar. Penghematan konsumsi bahan bakar lebih besar terjadi pada penggunaan pelet arang 5 mm pada putaran mesin 1500 dan 2500 rpm, sedangkan pada putaran tinggi 4000 rpm, hasil terbaik terjadi pada pelet arang diameter 10 mm. Hal ini dapat terjadi karena laju udara pembakaran masuk ruang bakar lebih tinggi pada putaran 4000 rpm, sementara celah rongga yang diberikan pada aplikasi pelet arang 5 mm lebih kecil, akibatnya laju udara pembakaran menjadi lebih terhambat. Di sisi lain, variasi massa pelet arang yang digunakan juga mempengaruhi penghematan konsumsi bahan bakar. Semakin tinggi massa pelet arang yang digunakan ternyata tidak selalu menjamin terjadinya penghematan konsumsi bahan bakar lebih tinggi. Penghematan konsumsi bahan bakar terbaik pada operasi putaran mesin 1500 rpm terjadi pada penggunaan pelet arang diameter 5 mm dan massa 40 gram, yaitu sebesar 18,9%, dan pada putaran mesin 2500 rpm justru terjadi pada pelet arang diameter 5 mm dan massa 35 gram, yaitu sebesar 26,56%. Hal yang berbeda terjadi pada operasi mesin 4000 rpm, hasil terbaik terjadi pada penggunaan pelet arang diameter 10 mm dan massa 45 gram, yaitu 29,3%.

Pengujian Konsumsi bahan Bakar Pada Road Test Kecepatan 50 km/jam

Konsumsi bahan bakar yang terjadi pada road test kecepatan rata-rata 50 km/jam sejauh 5 km ditampilkan pada gambar 6.

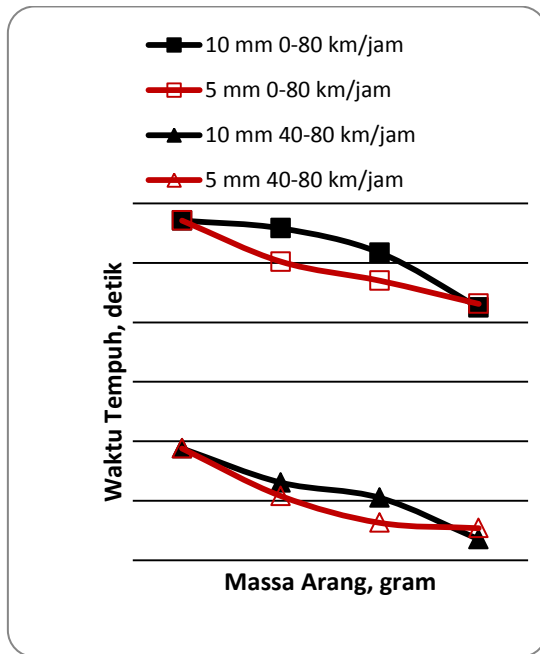


Gambar 6. Konsumsi Bahan Bakar Pada Road Test

Sama halnya dengan hasil yang terjadi pada uji stasioner, pemanfaatan pelet arang tempurung kelapa pada road test ini juga mampu menghemat konsumsi bahan bakar pada semua pengujian. Hal yang menarik pada road test ini adalah pada pemanfaatan pelet arang yang menyediakan celah rongga paling besar (pelet arang diameter 10 mm), laju udara pembakaran pada kecepatan rata-rata 50 km/jam ini ternyata berjalan mulus, tidak terjadi hambatan laju yang berarti, sehingga pemanfaatan massa arang yang lebih besar mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar lebih besar. Penghematan konsumsi bahan bakar yang diperoleh yaitu sebesar 24,36% (pada massa 45 gram), 16,66% (pada massa 40 gram), dan 10,53% (pada massa 35 gram). Sementara itu pada pemanfaatan pelet arang diameter 5 mm, hasil terbaik justru terjadi pada aplikasi massa 35 gram, yaitu sebesar 19,23%. Penghematan konsumsi bahan bakar pada road test ini masih lebih baik bila dibandingkan pada uji kondisi stasioner putaran mesin 1500 rpm, dan tidak berbeda jauh dengan hasil uji pada putaran mesin 2500 dan 4000 rpm. Namun demikian, penghematan konsumsi bahan bakar yang diperoleh pada road test ini sudah cukup baik, yaitu mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar di atas 19%.

Pengujian Akselerasi

Waktu tempuh yang terjadi pada uji akselerasi 0-80 km/jam dan 40-80 km/jam ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 7. Waktu Tempuh pada Uji Akselerasi 0-80 km/jam dan 40-80 km/jam

Seperti halnya hasil yang diperoleh pada pengujian konsumsi bahan bakar, pada pengujian akselerasi ini pemanfaatan pelet arang tempurung kelapa juga memberikan hasil yang menggembirakan, yaitu mampu mempersingkat waktu tempuh untuk semua pengujian. Pada uji akselerasi 0-80 km/jam, pemanfaatan pelet arang diameter 10 mm mampu mempersingkat waktu tempuh dari 1,15% hingga 13%, dan sebesar 6,15% hingga 12,48% pada pelet arang diameter 5 mm. Sementara itu, hasil yang lebih baik terjadi pada uji akselerasi 40-80 km/jam, yaitu mampu mempersingkat waktu tempuh dari 7,77% hingga 20,69 % pada pemanfaatan pelet arang diameter 10 mm, dan sebesar 10,84% hingga 18,15% pada pelet arang diameter 5 mm. Dari hasil kedua uji akselerasi ini terlihat bahwa pemanfaatan pelet arang dengan massa lebih tinggi memberikan penurunan waktu tempuh lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyak pelet arang yang digunakan, maka luas permukaan kontak antara pelet arang dan udara pembakaran menjadi lebih besar. Dengan demikian, uap air dalam udara pembakaran lebih banyak diadsorb oleh pelet arang tersebut, sehingga dihasilkan udara pembakaran yang kaya oksigen.

Disisi lain, pemanfaatan pelet arang diameter paling besar juga mendominasi penurunan waktu tempuh. Hal ini dapat terjadi karena pada aplikasi pelet arang diameter paling besar, celah rongga yang tersedia juga besar, sehingga laju udara pembakaran masuk ruang bakar tidak terlalu terhambat. Penurunan waktu tempuh paling tinggi berarti peningkatan akselerasi paling tinggi. Peningkatan akselerasi paling tinggi pada uji akselerasi 0-80

km/jam terjadi pada pemanfaatan pelet arang diameter 10 mm dengan massa 45 gram, yaitusebesar 13%, sedangkan pada uji akselerasi 40-80 km/jam juga terjadi pada pemanfaatan pelet arang diameter 10 mm dengan massa 45 gram, yaitu sebesar 20,69%.

KESIMPULAN

Kemampuan pelet arang tempurung kelapa dalam menghemat konsumsi bahan bakar dan meningkatkan akselerasi secara signifikan telah dibuktikan melalui penelitian ini. Hasil terbaik pada uji konsumsi bahan bakar kondisi stasioner terjadi pada pemanfaatan pelet arang massa 40 gram dan diameter 5 mm (pada putaran 1500 dan 2500 rpm), sedangkan pada putaran 4000 rpm terjadi pada massa 45 gram dan diameter 10 mm. Sementara itu, pada road test terjadi pada massa 45 gram dan diameter 10 mm. Peningkatan akselerasi terbaik juga terjadi pada pemanfaatan massa 45 gram dan diameter 10 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki K.T., Setiawan B., dan Nurimaniwathy. 2008. Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa Yang Disisipi TiO₂. Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta.
- Ikawati dan Melati. 2009. Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati. Prosiding SNTKI 2009. APTEKINDO. Bandung. ISBN 978-979-98300-1-2.
- Indonesian Commercial Newsletter (ICN). 2011. Perkebunan Kelapa: Potensi Yang Belum Optimal. <http://www.datacon.co.id/Sawit-2011Kelapa.html>. Akses: 9 Mei 2012.
- Wardono H., dan Ginting S.Br. 2007, Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung Sebagai Adsorben Udara Pembakaran Ramah Lingkungan Untuk meningkatkan Prestasi Kendaraan Bermotor Bensin 4- Langkah. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Bandar Lampung.
- Yazid, M., 2012. Lampung Selatan Genjot Produksi Kelapa Naik 10%. <http://industri.kontan.co.id/news/lampung-selatan-genjot-produksi-kelapa-naik-10>. Akses: 15 Mei 2012

PENGHARGAAN

Terima kasih penulis ucapkan kepada Saudara Armeny P.G. atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

Determination of Optimum Number of Microalgae Biomass *Nannochloropsis oculata* with a Variation of CO₂ Concentration and Type Photobioreactor

Indri Febrian Esa Tika dan Elida Purba
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Lampung, Lampung
e-mail : indrifebrian24@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to determine the optimum CO₂ concentration and the type of photobioreactor in order to optimize the amount of microalgae *Nannochloropsis oculata*. The variables use CO₂ concentration (0, 3, 9, 18%) and type of photobioreactor (baffled and unbaffled). The cultured was grown in 7 days and the number of cells were measured daily by using haemocytometer. The microalgae was harvested in the 7th day. The result show that the amount of biomass maximum was obtained on 3% of CO₂ concentration and unbaffled photobioreactor, that is 0.69 grams. This means that un-baffled photobioreactor gives better results.

Key words: *Nannochloropsis oculata*, CO₂ concentration, photobioreactor, biomass, cell density

PENDAHULUAN

Untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap pemakaian bahan bakar diesel diperlukan alternatif bahan bakar yaitu biodiesel yang terbuat dari minyak nabati. Mikroalga merupakan sumber minyak nabati yang tersebar luas di Indonesia. *Nannochloropsis oculata* merupakan mikroalga mempunyai kandungan *fatty acid* sebesar 16,7% wt ash free [reed-mariculture.com, 2009]. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian yang mengangkat tentang penentuan biomassa optimum dari mikroalga *Nannochloropsis oculata*. Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh beberapa komponen utama yaitu cahaya, karbon dioksida dan nutrisi.

Penelitian terdahulu memperlihatkan pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* optimum pada konsentrasi CO₂ umpan 6%. [Chinnasamy *et al*, 2009]. Respon pertumbuhan sel mikroalga *Ankistrodesmus convultus* mengalami peningkatan pada kultur fotobioreaktor berpenyekat [Chrismada *et al*, 2007]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tipe fotobioreaktor dan konsentrasi CO₂ optimum guna mengoptimalkan pertumbuhan biomassa *Nannochloropsis oculata*. Pada penelitian ini juga dilakukan ekstraksi pada biomassa kering mikroalga untuk mengetahui kandungan lipid mikroalga. Hasil yang didapat diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu referensi bagi penelitian mikroalga ke depan.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

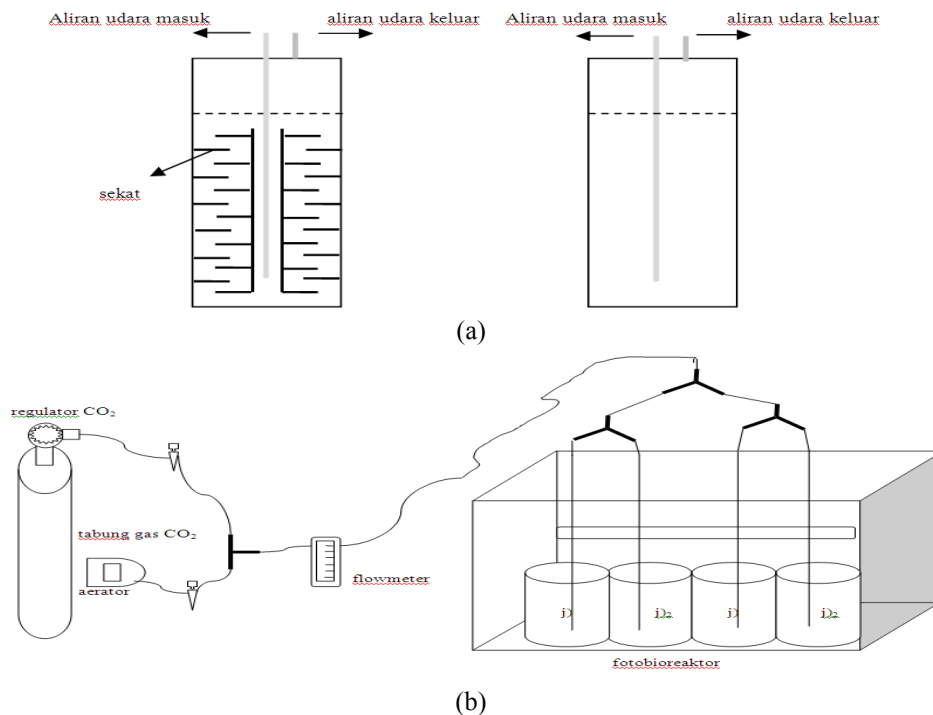
Bahan yang digunakan pada penelitian ini : *Nannochloropsis oculata*, air laut terozonisasi, pupuk conwy, gas CO₂, udara. Peralatan yang

digunakan pada penelitian ini : fotobioreaktor (berpenyekat dan tanpa sekat), *air pump*, regulator CO₂, *flowmeter gas*, lampu *fluorescent* 20 Watt, timbangan digital, luxmeter, tabung pencampur, *haemocytometer*, mikroskop, *centrifuge*.

Prosedur

Pengkulturan *Nannochloropsis oculata* dilakukan dengan volume 1,5 L dengan perbandingan air laut dan bibit mikroalga adalah 3:1. Pada awal pengkulturan *Nannochloropsis oculata* ditambahkan nutrisi sebanyak 1,5 mL, pengkulturan dilakukan selama tujuh hari dalam fotobioreaktor (berpenyekat dan tanpa sekat) dan mengalirkan konsentrasi CO₂ umpan dengan variasi 0, 3, 9, 18% volume secara kontinyu. Intensitas cahaya diatur berdasarkan jarak dari sumber cahaya menggunakan luxmeter. Pencahayaan dilakukan selama 24 jam sehari. Setelah itu, dilakukan penghitungan jumlah sel mikroalga setiap hari menggunakan *haemocytometer*. Pada hari ke tujuh dilakukan pemanenan menggunakan *centrifuge* guna dihitung berat biomassa kering setelah dikeringkan menggunakan oven. Biomassa kering yang didapat kemudian di ekstraksi untuk diketahui kandungan lipidnya.

Skema Rangkaian Peralatan Penelitian

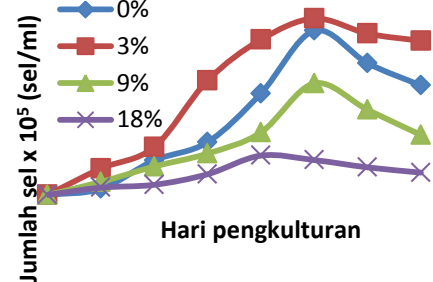


Gambar 1. Fotobioreaktor berpenyekat dan tanpa sekat (a) skema rangkaian peralatan Penelitian (b)

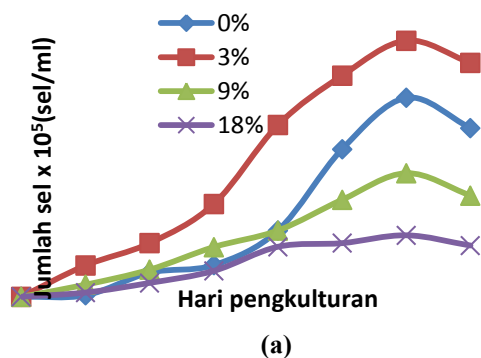
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi CO₂ Umpam Terhadap Pertumbuhan Sel

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel jumlah sel selama pengkulturan. Pada Gambar 2 dapat dilihat jumlah sel dengan konsentrasi CO₂ umpam 0, 3, 9 dan 18%. Jumlah sel maksimum didapat pada konsentrasi CO₂ umpam 3%, baik itu menggunakan fotobioreaktor bersekat ataupun tanpa sekat. Pada fotobioreaktor bersekat jumlah sel yang didapat yaitu 470x 10⁵ sel/ml di hari ke 5 dan pada fotobioreaktor tanpa sekat 467 x 10⁵ sel/ml di hari ke 6. Dari data tersebut dapat dikatakan konsentrasi CO₂ umpam berpengaruh terhadap

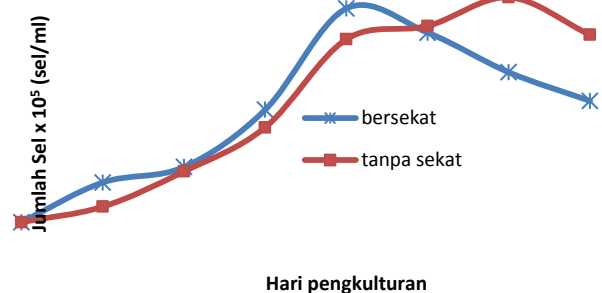


(b)



(a)

Gambar 2. Jumlah sel *Nannochloropsis oculata* dengan konsentrasi CO₂ umpam 0, 3, 9, 18%

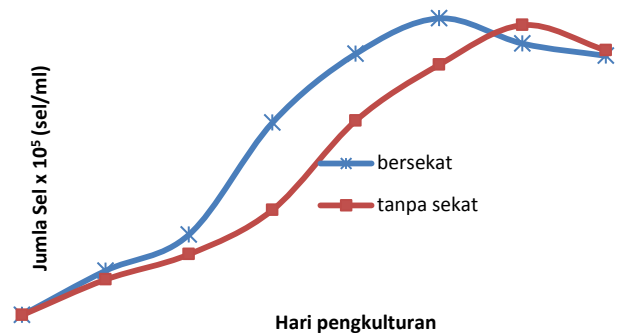


menggunakan fotobioreaktor tanpa sekat (a)
 dan fotobioreaktor berpenyekat (b)

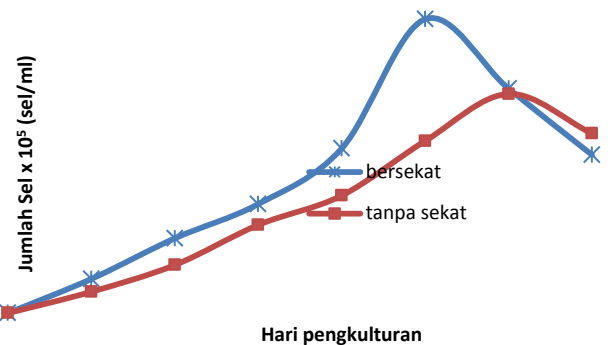
pertumbuhan sel alga. Hal ini juga didukung oleh penelitian Chinnasamy dkk [Chinnasamy *et al*, 2009] yang mengungkapkan kultur *Chlorella vulgaris* terbaik didapat dengan menggunakan konsentrasi CO₂ umpan 6% yang di dapat jumlah sel sebanyak 210 µg/ml. Pada konsentrasi CO₂ umpan 9 dan 18 % jumlah sel yang didapat tidak maksimal, ini disebabkan CO₂ yang terdapat di udara umpan bereaksi dengan H⁺ hasil reaksi fotosintesis dan membentuk bikarbonat (HCO₃⁻). Semakin banyak bikarbonat yang terbentuk maka kultur mikroalga akan menjadi semakin asam, jika kultur terlalu basa akan mengganggu metabolisme *Nannochloropsis oculata*. Hal ini didukung hasil penelitian yang dikumpulkan oleh Ono dkk bahwa toleransi rata-rata alga hijau terhadap konsentrasi CO₂ adalah 15% [Ono *et al*, 2003].

Pengaruh Tipe Fotobioreaktor Terhadap Pertumbuhan Sel

Gambar 3 menunjukkan pertumbuhan sel *Nannochloropsis oculata* dengan konsentrasi CO₂ umpan 0, 3, 9 dan 18%. Data menunjukkan bahwa fotobioreaktor berpenyekat lebih cepat mencapai jumlah sel maksimum. Pada konsentrasi CO₂ umpan 0% didapat jumlah sel sebanyak 440 x 10⁵ sel/ml, 3% sebanyak 470 x 10⁵ sel/ml, 9% sebanyak 209 x 10⁵ sel/ml pada fotobioreaktor berpenyekat saat hari ke-5 dan 18% sebanyak 132 x 10⁵ sel/ml saat hari ke-4. Sedangkan pada fotobioreaktor tanpa sekat dengan konsentrasi CO₂ 0% sebanyak 365 x 10⁵ sel/ml, 3% sebanyak 467 x 10⁵ sel/ml, 9% sebanyak 214 x 10⁵ sel/ml, dan 18% sebanyak 137 x 10⁵ sel/ml di hari ke 6. Kecenderungan fotobioreaktor berpenyekat lebih cepat mencapai pertumbuhan sel maksimum dibandingkan fotobioreaktor tanpa sekat didukung oleh penelitian Chrismada dkk. Penelitian ini



(b)



(c)

Gambar 3. Pertumbuhan sel *Nannochloropsis oculata* dengan konsentrasi CO₂ umpan 0% (a), 3% (b), 9% (c) 18% (d)

mengungkapkan bahwa pada kultur *Ankistrodesmus convulufus* respon pertumbuhan sel mikroalga menggunakan fotobioreaktor berpenyekat lebih baik daripada fotobioreaktor tanpa sekat [Chrismada *et al*, 2007]. Hasil ini juga sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa reaksi yang melibatkan 2 fasa seperti gas – cair, transfer massa kan sangat berpengaruh terhadap berlangsungnya reaksi. Biasanya reaksi heterogen berlangsung pada *interface*, jadi semakin luas transfer massa maka semakin banyak reaksi yang terjadi sehingga dapat mempercepat reaksi. Penggunaan penyekat pada fotobioreaktor akan memperluas kontak antara gas dan cairan, sehingga transfer massa yang terjadi akan menjadi lebih baik.

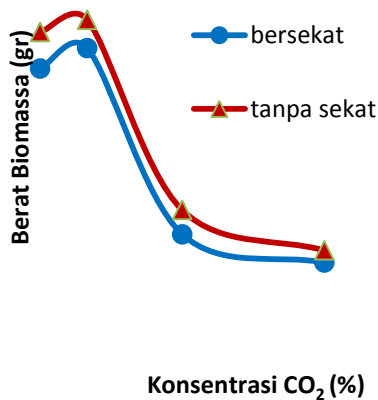
Perolehan Biomassa Kering

Gambar 4 menunjukkan perolehan biomassa kering yang didapat setelah pemanenan alga di hari ke 7. Dari data yang diperoleh biomassa maksimum pada konsentrasi CO₂ umpan 3% pada fotobioreaktor berpenyekat yaitu 0,62 gr sedangkan pada fotobioreaktor tanpa sekat 0,69 gr. Perolehan



(a)

biomassa pada fotobioreaktor berpenyekat lebih sedikit dibandingkan tanpa sekat dikarenakan pemanenan dilakukan pada hari ke-7. Saat hari ke-7 sel alga telah mengalami fase kematian sehingga menyulitkan dalam pengambilan sampel. Jika mengacu pada Gambar 2 pertumbuhan sel alga terbaik diperoleh pada fotobioreaktor berpenyekat dengan konsentrasi CO₂ umpan 3%.



Gambar 4. Perolehan biomassa kering *Nannochloropsis oculata*

Ekstraksi Lipid Dari Biomassa Mikroalga *Nannochloropsis oculata*

Proses ekstraksi dilakukan mengikuti Firdaus yang mengungkapkan waktu terbaik dalam melakukan ekstraksi adalah 60 menit [Firdaus, 2009]. Perbandingan pelarut sebanyak 20 :1 terhadap massa biomassa kering seperti yang dilakukan Ranti [Ranti, 2010]. Berat alga kering *Nannochloropsis oculata* yang akan diekstrak adalah 3,13 gr, jumlah pelarut yang digunakan dalam setiap ekstraksi adalah 60 ml. Ekstraksi dihentikan pada yang ke-5, saat tidak terjadi perubahan warna pada waktu ekstraksi. Massa terekstrak yang didapat kemudian dipekatkan menggunakan *vacuum evaporator* hingga volume massa terekstrak menjadi 5 ml. Setelah itu dilakukan pengujian untuk memastikan apakah terkandung lipid atau tidak di dalam massa terekstrak. Pengujian dilakukan dengan melarutkan massa terekstrak dengan etanol 95% dengan perbandingan 1:9, setelah itu di dinginkan pada temperatur -15°C. Setelah 12 jam didapatkan garis-garis cairan membeku yang diyakini lipid karena titik beku minyak lebih tinggi dibandingkan etanol yaitu 15°C.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi CO₂ umpan 3% adalah yang terbaik untuk pertumbuhan sel mikroalga *Nannochloropsis oculata*.

2. Fotobioreaktor berpenyekat mempercepat pertumbuhan sel mikroalga *Nannochloropsis oculata*.
3. Perolehan biomassa terbaik saat pemanenan di hari ke-7 didapat pada pengkulturan menggunakan fotobioreaktor tanpa sekat dengan konsentrasi CO₂ umpan 3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Chrismada *et al.* 2007. *Respon Kultur Mikroalga Ankistrodesmus convulus Dalam Fotobioreaktor Tegak Berpenyekat Terhadap Variasi Intensitas Cahaya*. LIPI
- Chinasamy *et al.* 2009. *Biomass Production Potential of a Waste Water Alga chlerella vulgaris ARC 1 Under Elevated of CO and Temperature*. USA: The university of Georgia.
- Firdaus, Yusuf. 2009. *Penentuan Kondisi Operasi Optimum pada Ekstraksi Minyak Jarak Tiang (Ricinus Communis Linn) Dengan Pelarut Organik*. Serpong : Institut Teknologi Indonesia.
- Ono, Eiichi *et al.* 2003. *Selection of Optimal Microalgae Species For CO₂ Sequestration*. The University of Arizona
- Ranti, Karolina. 2010. *Ekstraksi Minyak Alga Dari Alga Kering Nannochloropsis Oculata Menggunakan Etanol Dan N-Heksana*. Bandar Lampung: Universitas Lampung
- www.reed-mariculture.com/; 2009

Drying Curcuma (*Curcuma domestica*) using Vacuum Dryer

Doni Purnama dan Azhar
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Lampung,

Bandar Lampung, Indonesia, 35145

E-mail: donipurnamaproperti@gmail.com

Abstract

This research aimed to determine effect of bed height and drying time for quality of curcuma (moisture content, curcumin content and color). The variable that used in this research are pressure of 360 mmHg vacuum condition, bed height are 1 cm, 2 cm dan 3 cm and pressure of 560 mmHg vacuum condition, bed height are 1 cm, 2 cm dan 3 cm. drying process was done using vacuum dryer which is designed using heater and vacuum pump to reduce the water content. Measurement was taken every 10 minutes until the weight is constant. Curcumin content analysis was analyzed using UV-VIS. The best result is achieved on condition of pressure of 360 mmHg and bed height is 2 cm, curcumin content is 15,33%, dried curcuma broke, light orange colored, and water content of 10% achieved at 110th minute.

Keywords : dried curcuma, curcumin content, color, water content, vacuum pressure, heater, drying rate, UV-VIS

PENDAHULUAN

Kunyit (*Curcuma domestica* Val) merupakan salah satu tanaman obat potensial, selain sebagai bahan baku obat juga dipakai sebagai bumbu dapur dan zat pewarna alami. Rimpang kunyit mengandung 28% glukosa, 12% fruktosa, 8% protein, kurkumin vitamin C dan mineral kandungan kalium dalam rimpang kunyit cukup tinggi [Rismunandar, 1998]. Kandungan utama dari kurkuminoid adalah kurkumin yang berwarna kuning jingga. Kandungan kurkumin di dalam kunyit berkisar 40 % [Joe dkk., 2004; Eigner dan Schulz, 1999].

Permasalahan yang sering dihadapi adalah keinginan untuk menghasilkan kunyit kering dengan laju pengeringan yang cepat, tetapi hanya dapat dilakukan dengan temperatur tinggi, sedangkan temperatur tinggi dapat merusak kualitas dari kunyit. Untuk itu diperlukan metode baru dimana kunyit dikeringkan menggunakan pengering dengan temperatur 50⁰C konstan dan memanfaatkan tekanan vakum. Penggunaan pengering dan penambahan tekanan vakum pada ruang pengeringan dapat mempercepat proses penguapan uap air yang berada didalam kunyit tanpa mengikutkan kurkumin, Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tinggi tumpukan dan lama pengeringan terhadap kualitas kunyit (kadar air, kadar kurkumin dan warna).

METODELOGI

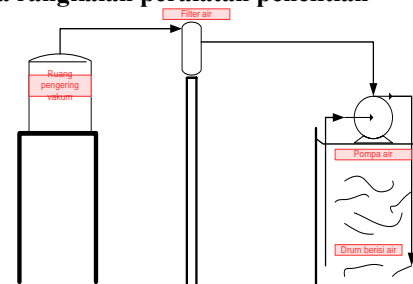
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini: kunyit segar yang diiris tipis setebal 2 mm. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini: alat pengering vakum yang dirancang dengan spesifikasi tertentu, timbangan digital, pompa air, heater, pressure gauge, termometer, dimmer.

Prosedur

Kunyit diiris tipis 2 mm dengan papan pengiris. Irisan kunyit dimasukkan kedalam keranjang dengan ketebalan tumpukan 1, 2 dan 3 cm. Keranjangi kunyit dimasukkan kedalam pengering vakum yang ditutup rapat. Hidupkan heater dan pompa, dengan temperature 50⁰C dan tekanan 560 mmHg. Keringkan kunyit selama 10 menit, 20 menit, sampai kering. Keluarkan kunyit kering dari pengering vakum tiap 10 menit. Hitung berat kering kunyit, ulangi metoda pengeringan untuk tekanan 360 mmHg. Ukur kadar kurkumin pada kunyit, kadar air dan laju pengeringan

Skema rangkaian peralatan penelitian



Gambar 1. Rangkaian skema alat pengering vakum

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar kurkumin

Salah satu zat yang paling penting pada kunyit adalah kurkumin, kandungan kurkumin minimal pada kunyit yang diperdagangkan adalah 5,6 %. Ada beberapa hal yang mempengaruhi kadar kurkumin pada pengeringan kunyit, diantaranya:

a. Pengaruh temperatur terhadap kadar kurkumin pada kunyit

Temperatur ideal untuk pengeringan kunyit adalah 55°C, jika temperatur pemanasan melebihi 55°C maka kurkumin mengalami degradasi membentuk asam ferulat dan feruloilmetan. Temperatur pada pengeringan kunyit ini diatur konstan 50°C, agar kadar kurkuminnya tetap terjaga. Kadar kurkumin yang di dapatkan setelah di keringkan dengan temperatur 50°C tekanan 360 mmHg tinggi tumpukan 2 cm adalah 15,33% selama 150 menit.

b. Pengaruh tekanan vakum terhadap kadar kurkumin pada kunyit

Perbedaan tekanan vakum yakni 360 mmHg dan 560 mmHg sangat mempengaruhi kadar kurkumin, pada tekanan 360 mmHg untuk tinggi tumpukan 2 cm kadar kurkumin 15,33% dibandingkan dengan tekanan 560 mmHg tinggi tumpukan 2 cm, kadar kurkumin 11,88%. Hal ini menjelaskan, semakin tinggi tekanan vakum akan memperpendek waktu pengeringan kunyit, akibatnya kadar kurkumin yang ada pada kunyit kering dapat dijaga agar tidak semakin berkurang karena lamanya proses pengeringan.

c. Pengaruh tinggi tumpukan terhadap kadar kurkumin pada kunyit

Tinggi tumpukan kunyit sangat mempengaruhi kadar kurkumin karena semakin tinggi tumpukan kunyit akan memperpanjang proses pengeringan dan mengurangi kadar kurkumin. Hal ini dapat dibandingkan antara tumpukan 1 cm pada tekanan 560 mmHg dengan kadar kurkumin 14,14 % dan tumpukan 3 cm pada tekanan 560 mmHg dengan kadar 7,93 %. Kadar kurkumin pada tinggi tumpukan 1 cm lebih besar dibandingkan dengan tinggi tumpukan 3 cm, meskipun dengan tekanan yang sama 560 mmHg. Data hasil analisis kandungan kurkumin dapat dilihat pada lampiran.

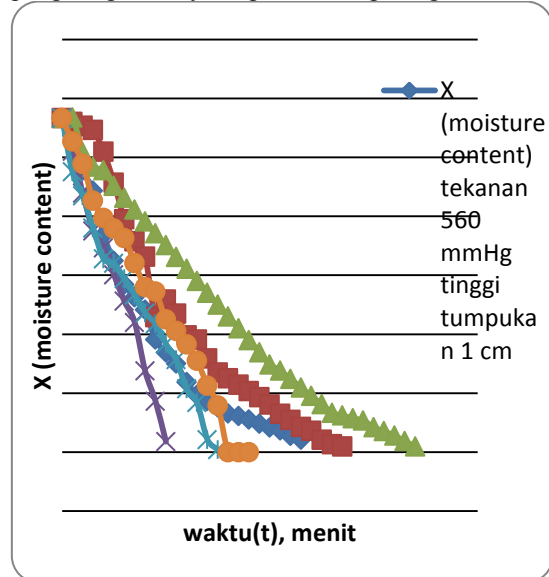
2. kadar air

Pengeringan disebut juga pengurangan kadar air pada bahan padat, hingga kadar air tertentu. Adapun tujuan di keringkannya kunyit adalah Untuk meningkatkan nilai ekonomi kunyit, mengawetkan kunyit sehingga memperpanjang usia penggunaan kunyit.

Pada pengeringan kunyit ada beberapa faktor yang mempengaruhi berkurangnya kadar air pada kunyit, diantaranya perbedaan tekanan vakum dan tinggi tumpukan.

a. Pengaruh perbedaan tekanan vakum terhadap penurunan kadar air pada pengeringan kunyit.

Berikut data pengaruh perbedaan tekanan vakum terhadap Penurunan kadar air pada pengeringan kunyit dapat di lihat pada gambar 4.1.



Gambar 2. Perbandingan tekanan vakum terhadap penurunan kadar air

Semakin tinggi tekanan vakum akan semakin mempercepat proses pengurangan kadar air di dalam tumpukan kunyit. melalui gambar 2 diketahui pada tekanan 360 mmHg dan tinggi tumpukan 1 cm, laju penurunan kadar air sangat cepat yakni pada menit ke 100 sudah tercapai keadaan bond dry atau keadaan kering total dari kunyit. Jika di bandingkan dengan tekanan 560 mmHg dan tinggi tumpukan yang sama maka penurunan kadar airnya berbeda jauh, keadaan kering total (bond dry) pada menit ke 230.

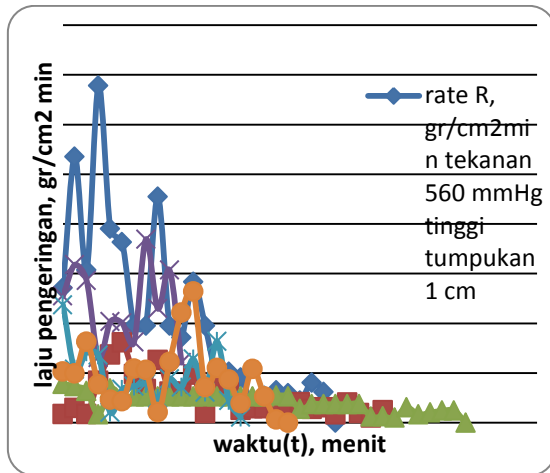
b. Pengaruh perbedaan tinggi tumpukan terhadap penurunan kadar air pada pengeringan kunyit.

Tinggi tumpukan kunyit sangat mempengaruhi penurunan kadar air dari kunyit, ini dapat dibandingkan antara tinggi tumpukan 1 cm pada tekanan 360 mmHg dengan tinggi tumpukan 3 cm dengan tekanan 360 mmHg. Kadar air yang mencapai bond dry yang terlebih dahulu adalah pada tumpukan 1 cm yakni pada menit ke 100 sedangkan pada tekanan yang sama 360 mmHg tinggi tumpukan 3 cm keadaan bond drynya tercapai pada menit ke 180.

3. Laju pengeringan

Laju pengeringan dalam proses pengeringan suatu bahan mempunyai arti penting, dimana laju pengeringan akan menggambarkan bagaimana kecepatan pengeringan itu berlangsung. Laju pengeringan dinyatakan dengan berat air yang diuapkan persatuan berat kering perjam.

Berikut dapat dilihat pada gambar 3 grafik hubungan perbandingan laju pengeringan kunyit terhadap waktu.



Gambar 3. Grafik perbandingan laju pengeringan terhadap penurunan kadar air

Laju pengeringan terbaik pada tekanan 360 mmHg tinggi tumpukan 1 cm temperatur 50°C karena dihasilkan kunyit dengan kadar kurkumin 16,43 %. Kunyit yang dihasilkan cukup banyak, dalam waktu yang relatif lebih singkat dan kadar kurkuminnya tinggi.

4. Uji organoleptik

Uji organoleptik pada kunyit kering mengarahkan kesimpulan bahwa kunyit dengan temperatur 50°C tekanan 360 mmHg tinggi tumpukan 2 cm lebih disukai warnanya dibandingkan dengan kunyit kering dengan spesifikasi tekanan dan tinggi tumpukan lainnya. Warna yang dihasilkan kunyit yakni berwarna kuning cerah coklat muda.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat dibuat suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan alat pengering vakum dapat mempercepat proses pengeringan kunyit.
2. Dengan menggunakan alat pengering vakum dapat mengurangi hilangnya kadar kurkumin akibat pengeringan.

3. Kadar kurkumin terbaik didapatkan pada tinggi tumpukan 1 cm tekanan 360 mmHg temperatur konstan 50°C didapatkan kadar kurkumin 16,43.
4. Warna kunyit yang paling disukai didapatkan pada tinggi tumpukan 2 cm tekanan 360 mmHg temperatur konstan 50°C.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1975. Annual book of ASTM standard Part 13, C49-51
- Brandy, J.E., 1999. Kimia universitas. Asas dan Struktur. Edisi ke-5 Jild 1.
Terjemahan: maun S., Anas dan Sally T.S. Binarupa Aksara, Jakarta.
- Brooker, D.B.F., F.W.BAKKER-Arkema and C.W.Hall.1981. Drying of Cereal Grain. The AVI Pulb.Co.Inc., Weatport, Connecticut,USA.
- Chang,r/and w. tikkanen.1988. *the top fifty industrial chemicals*. Random House, New York.
- Dandekar dan Gaikar. 2002. *Microwave Assisted Extraction Of Curcuminoids From Curcuma Longa*. Separation Science and Technology. 37(11), 2669-2690.
- Foust, Alan S.Wenzel,L A. Curtis,W C.Louis Maus. L Brice A. , (1960),
"Principles of Unit Operations", 2nd ed, John wiley & Sons, New York.
- Geankoplis, C.J. 1983. Drying proses of materials. Didalam : Transport Processes and Unit Operations, 2nd eds. Allyn and Bacon, Boston,MA.
- Hall, C.W.1957. Drying of Farm Corps. Eduart Brothers Co., Michigan.
- Henderson, S.M. and S.Pabis. 1961.Grain drying theory temperature effect on drying coefficient. J.Agric.Eng.,Res. 6(3) : 107-147.
- Jaruga et al., 1998 dan Pan et al., 1999. *Kunyit (Curcuma longa Linn.)*. Diperoleh tanggal 20 April 2011 dari <http://ccrcfarmasiugm.wordpress.com>
- Kirk, R.E. and D.F.Othmer, 1952. Encyclopedia of Chemical Technology Volume 8. The Interscience Encyclopedia, Inc. New York.
- Muljoharjo, M. 1987. Pengeringan bahan pangan. Makalah yang disampaikan dalam kursus singkat pengeringan bahan pangan. PAU Pangan-Gizi-UGM, 14-31 Desember 1987.
- Okos, M.R., G.Narsimhan, R.K.Sing and A.C.Wetnauer. 1992. Food dehydraton. In : handbook of Food Engineering. D.R.Heldman and D.B.Lund (ed). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Perry, R.H.,. 1950.*Chemical Engineer's Handbook*, 6th edition, McGraw Hill

- Book Company,inc., Tokyo, 3-25 p.
Pharmaceutical & Biomedical Analysis; Jan2008,
Vol. 46 Issue 2, p322-327, 6p
Horrison,Judy.2000."Preserving Food: Drying fruit
and vegetable".University of
Georgia.
Sabel dan Waren. 1973. Diperoleh tanggal 10
September 2011dari
<http://ferryatsiri.blogspot.com>
Sastry, B.S. 1970. *Curcumin Content of Turmeric*.
Res. Ind., 15 (4), 258–260.
Sudarsono et.al,. 1996. *Kunyit (Curcuma longa*
Linn.). Diperoleh tanggal 20 April
2011 dari
<http://ccrcfarmasiugm.wordpress.com>
Sigge, G.O., C.F.Hansmann and E.Joubert. 1988.
Effect of temperature and
relative humidity on the dryng rates and
drying times of green bell peppers
(*Capsicum annuum* L.). drying Tech. 16(8) :
1703-1714.
Soekarto, T., 1981. Penilaian Organoleptik untuk
Industri pangan dan Hasil
Pertanian.PUSBANGTEPA IPB Bogor.
Suherman."Diktat Kuliah pengeringan".Universitas
Diponegoro.
Taib, G.E. Gumbira Said dan S.Wiraatmaja. 1888.
Operas Pengeringan Pada
Pengolahan Hasil Pertanian. PT.
Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta
[http://
www.agromaret.com/jual/10240/kunyit_kering_utuh
_dry_turmeric_finger](http://www.agromaret.com/jual/10240/kunyit_kering_utuh_dry_turmeric_finger)

Study of Effects of Biomass' Composition to Quality of Bio-oil from Pyrolysis

Alfian Yuandika Putra dan Azhar
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
 Universitas Lampung, Lampung
 e-mail : alfianyuandika@gmail.com

Abstract

This research aimed is to determine the effects of biomass' composition especially cellulose, hemicelullose and lignin to bio-oil quality trough pyrolysis process. this process used coffee skin, kakao skin and durian skin as the feed under operation condition pyrolysis temperature of 600°C, partikel size of 50 mesh and heating rate of 150°C/min. The variable that observed are calorific value, pH, flash point, density and yield. The best result was achieved by using the cacao skin, calorific value is 2064,5 cal/gram, pH is 3, viscosity is 1,27cp, yield 14,3%, density 1,11 g/ml and flash point more than 75°C.

keywords : bio-oil, pyrolysis, biomass

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan bahan bakar semakin hari semakin bertambah sedangkan ketersediaan bahan bakar semakin berkurang. Oleh karena itu, dibutuhkan pengganti bahan bakar fosil yang sifatnya terbarukan, mudah didapat dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan penggunaan biomassa. Biomassa yang digunakan adalah biomassa yang memiliki nilai ekonomi rendah seperti biomassa yang diambil dari limbah-limbah pertanian dan domestik seperti kulit kakao, sekam padi, bagas, sampah perkotaan, industri perkayuan dan lain-lain.

Biomassa limbah perkebunan sangat potensial dan mempunyai nilai produktif yang bisa dikembangkan para petani. Biomassa merupakan limbah lignoselulosik yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa.

| Komponen | kulit kakao | kulit durian | kulit kopi |
|------------------|-------------|--------------|------------|
| Hemiselulosa (%) | 48,64 | 15,5 | 10,7 |
| selulosa (%) | 31,25 | 47,1 | 42,9 |
| lignin (%) | 20,11 | 10,9 | 36,5 |

Tabel 1. Komposisi biomassa

Kandungan selulosa dan hemiselulosa pada pod kakao, kulit durian dan kulit kopi cukup potensial untuk diolah lebih lanjut menjadi produk bernilai ekonomi. Salah satunya yaitu *Bio-oil* yang didapat dari proses pirolisis yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Pirolisis adalah proses [dekomposisi kimia bahan organik](#) melalui proses [pemanasan](#) tanpa [oksigen](#), di mana material mentah akan mengalami proses dekomposisi struktur kimia menjadi fase [gas](#).

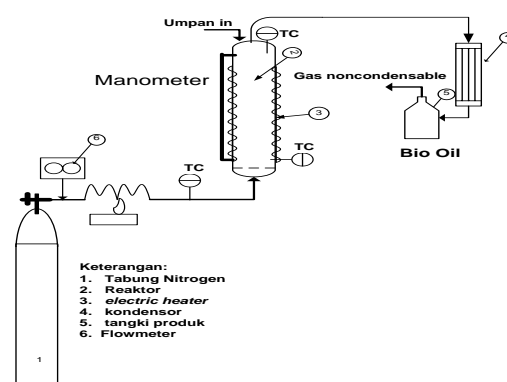
METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan bahan yang digunakan adalah : biomassa yaitu kulit kakao, kulit durian dan kulit kopi, gas nitrogen sebagai gas pembawa, pasir silika sebagai agen fluidisasi, es batu dan air sebagai pendingin. Alat yang digunakan adalah reaktor pirolizer, kondensor, kompor gas, pemanas elektrik, tabung gas LPG, tabung gas nitrogen, manometer, regulator volt, timbangan digital, multimeter, dan piknometer.

Prosedur

Bahan baku dikeringkan terlebih dahulu sampai beratnya konstan kemudian bahan baku tersebut dikecilkan ukurannya sampai lolos ayakan 50 mesh. Setelah itu, bahan baku dipirolisis kemudian gas yang terbentuk dikondensasi lalu bio-oil yang terbentuk dianalisis. Analisis yang dilakukan adalah densitas, nilai kalor, pH, titik nyala, viskositas dan rendemen fraksi cair. **Skema Rangkaian Alat Penelitian**

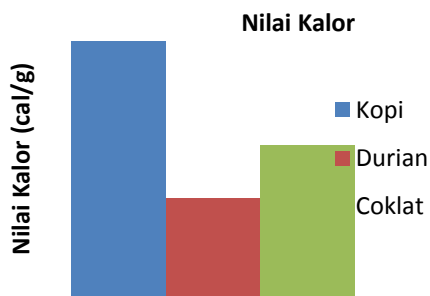


gambar 1. skema alat penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Kalor

Ada banyak hal yang mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan pada produk bio-oil, antara lain kondisi operasi dan bahan baku yang digunakan (Bridgewater, 1999). Secara umum, nilai kalor yang didapat berhubungan dengan kandungan apa saja yang terdapat didalam bio-oil tersebut. Kandungan bio-oil yang berbeda-beda akan menghasilkan nilai kalor yang berbeda-beda juga. Lignin relatif lebih tinggi kandungan atom C dan H-nya, namun kandungan O-nya lebih rendah dibandingkan selulosa dan hemiselulosa, dan lignin sebagai bahan bakar lebih bernilai dibanding selulosa dan hemiselulosa karena nilai panas pembakarannya lebih besar (Judoamidjojo *et al.*, 1989). Rousset dalam buku F. Broust menjelaskan tentang zat-zat hasil degradasi lignin yang terdiri dari vanilline, syringaldehide, phenol, dan cresol. Hal ini terbukti dari hasil penelitian yang dilakukan, dimana kulit kopi yang memiliki kandungan lignin 36,5% menghasilkan kalor yang lebih besar. Hasil pengukuran nilai kalor dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 2. hasil pengukuran nilai kalor dengan variasi biomassa

Derajat keasaman (pH)

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat ukur pH meter. pH yang dihasilkan dari produk ini memiliki sifat asam. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian yang menunjukkan hasil analisis pH yang semuanya memiliki pH sebesar 3. Sifat asam pada bio-oil ini disebabkan karena kandungan zat-zat yang bersifat asam. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis GC-MS pada tabel 4.2.

| No. | Nama Senyawa | Jumlah (%) |
|-----|---------------|------------|
| 1 | 2-propane | 1,19 |
| 2 | Acetic Acid | 35,18 |
| 3 | Toluene | 0,92 |
| 4 | Ethyl Benzene | 3,75 |
| 5 | Benzaldehide | 1,49 |
| 6 | Phenol | 41,35 |
| 7 | Cresol | 1,52 |

| | | |
|----|--------------|-------|
| 8 | Ethyl Phenol | 1,3 |
| 9 | Guaicol | 1,88 |
| 10 | Benzoic Acid | 0,78 |
| 11 | Lain-lain | 10,64 |

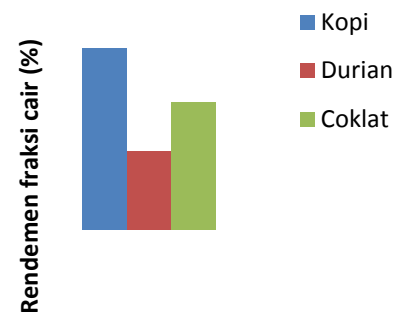
Tabel 2. hasil pengukuran GC-MS

Tabel 2 merupakan hasil pengukuran dengan menggunakan GC-MS dengan menggunakan satu contoh biomassa yaitu kulit kopi.

Yield

Dalam penelitian ini, biomassa divariasikan antara lain coklat, kopi, dan durian, dan pengaruhnya terhadap rendemen fraksi cair (bio-oil) ditunjukkan oleh gambar 4.2

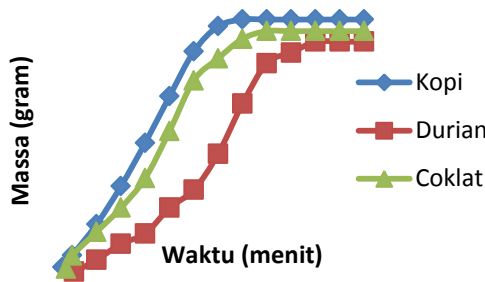
Pengaruh biomassa terhadap rendemen fraksi cair



Gambar 3. Pengaruh Biomassa terhadap Rendemen Fraksi Cair

Pada proses pirolisis dengan biomassa kulit kopi dihasilkan rendemen fraksi cair sebanyak 14,77%; biomassa kulit durian dihasilkan sebanyak 13,48% dan biomassa kulit coklat dihasilkan sebanyak 14,1%. Pada proses pirolisis ini dengan memvariasikan jenis biomassa didapat rendemen terbanyak pada biomassa kulit kopi. Hal ini dikarenakan kandungan lignin pada kulit kopi, lebih banyak daripada biomassa yang lain. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260 C, selulosa pada 240-350 C dan lignin pada suhu diatas 300-700 C.

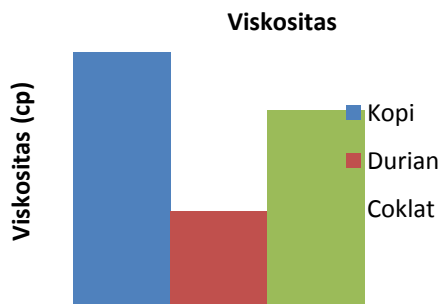
pada penelitian ini, digunakan suhu 600°C sehingga senyawa hasil degradasi hemiselulosa dan selulosa lebih banyak terpotong menjadi rantai yang lebih pendek dan menjadi gas pada suhu tinggi yang menyebabkan rendemen fraksi cair pada produk menjadi lebih sedikit. sedangkan untuk senyawa hasil degradasi lignin pada kondisi operasi 600°C masih belum terpotong menjadi rantai yang lebih pendek dan menjadi gas. Hal inilah yang menyebabkan biomassa dengan komposisi lignin menghasilkan rendemen fraksi cair yang lebih besar. Hal ini juga dapat dilihat dari laju pembentukan fraksi cair yang ditunjukkan pada gambar 4.3



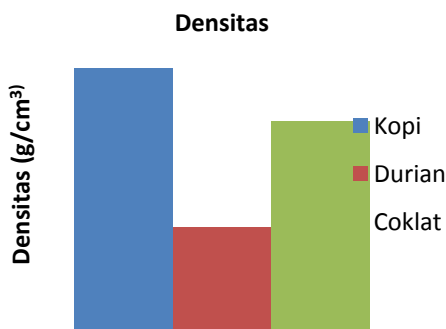
Gambar 4. laju pembentukkan fraksi cair
Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk biomassa yang mempunyai kandungan lignin yang lebih besar yaitu kulit kopi memerlukan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan fraksi cair.

Viskositas dan Densitas

Sampel bio-oil diukur densitasnya di laboratorium Penelitian Teknik Kimia Unila menggunakan alat piknometer dan viskositas diukur di laboratorium Teknologi Pertanian Politeknik menggunakan alat Viscosimeter Ostwald. Hasil Pengujian ditunjukkan oleh gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 5. hasil pengukuran viskositas dengan variasi biomassa



Gambar 6. hasil pengukuran densitas dengan variasi biomassa

Viskositas dan densitas dipengaruhi oleh sifat-sifat zat yang terbentuk. Viskositas yang tinggi disebabkan karena adanya fraksi-fraksi berat yang terbentuk dari hasil proses pirolisis. Fraksi-fraksi berat ini lebih banyak terdapat pada biomassa yang

memiliki lignin yang lebih banyak. Hal ini disebabkan karena lignin yang terkandung dalam biomassa pada suhu 600°C tidak terdegradasi menjadi senyawa yang lebih pendek rantainya seperti yang terjadi pada senyawa hemiselulosa dan selulosa.

Flash Point

Flash point atau titik nyala adalah suhu yang diperlukan suatu bahan untuk terbakar. Flash point dari bio-oil semuanya menyala pada suhu diatas 75°C. Titik nyala yang dihasilkan cukup tinggi bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak tanah yang memiliki titik nyala sekitar 35-50°C.

| R un | Bah an Bak u | Nil a calo r (cal/ g) | Viscos itas (CP) | p H | Yie ld | Fla sh Poi nt (°C) | Dens itas (gr/c m³) |
|------|----------------|-----------------------|------------------|-----|--------|---------------------|---------------------|
| 1 | Kuli t Kak ao | 206 4,5 | 1,27 | 3 | 14, 1 | >7 5 | 1,11 |
| 2 | Kuli t Dur ian | 200 7,5 | 1,13 | 3 | 13, 48 | >7 5 | 1,09 |
| 3 | Kuli t Kop i | 217 5,5 | 1,35 | 3 | 14, 77 | >7 5 | 1,12 |

Tabel 3. Hasil Penelitian

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pirolisis dengan biomassa yang memiliki kandungan lignin lebih tinggi akan menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi.
2. Pirolisis dengan biomassa yang memiliki kandungan lignin lebih tinggi akan menghasilkan viskositas dan densitas yang lebih besar
3. Produk bio-oil hasil pirolisis menghasilkan produk yang memiliki sifat asam.
4. Bio-oil hasil produk pirolisis memiliki nilai flash poin yang cukup tinggi yaitu diatas 75°C

DAFTAR PUSTAKA

- Judoamidjojo, R.M., E.G. Said dan L. Hartoto. 1989. *Biokonversi*. Departemen Pendidikan dn Kebudayaan. Direktorat Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Review The Effects of Temperature, Particle Size, and Heating Rate on Pyrolysis of Durian Skin to Yield Bio-oil

Astri Ayu Cahyani dan Azhar
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Lampung, Lampung
e-mail : astriayucahyani@gmail.com

Abstract

This research aimed is to determine the effects of process parameters to yield bio-oil produced. The process parameters such as pyrolysis temperature of 500°C and 600°C, particle size of 40 mesh and 50 mesh, and heating rate of 100°C/min and 200°C/min. The results showed that at the pyrolysis temperature of 600°C, particle size of 50 mesh, and heating rate of 200°C/min is the operating conditions that can the best produce yield of 16,43%.

keywords : bio-oil, pyrolysis, yield

PENDAHULUAN

Buah durian sangat digemari masyarakat. Biasanya dari sebutir buah, dikonsumsi oleh masyarakat hanya sekitar sepertiga bagian saja, yaitu daging buahnya. Sedangkan dua pertiga bagian lainnya terbuang begitu saja, yaitu bagian biji dan kulitnya. Pada dasarnya, kulit durian mengandung lignin, sel serabut yang berdimensi panjang, serta serabut yang cukup tebal. Kandungan kimia yang terdapat pada kulit durian adalah hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang dapat dimanfaatkan sebagai biomassa.

Pemanfaatan kulit durian secara sederhana sebenarnya telah dilakukan puluhan tahun silam oleh masyarakat di pedesaan. Mereka menjadikannya sebagai bahan bakar untuk memasak, tetapi asap yang dihasilkan dengan cara tradisional tersebut memiliki banyak kelemahan, seperti pencemaran lingkungan dan proses yang tidak dapat dikendalikan. Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, konversi biomassa berupa pirolisis kulit durian dapat menjadi alternatif lain untuk menghasilkan produk berupa *bio-oil*. Pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Dengan melakukan pirolisis kulit durian diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi dari kulit durian sekaligus jg mengatasi pencemaran lingkungan.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

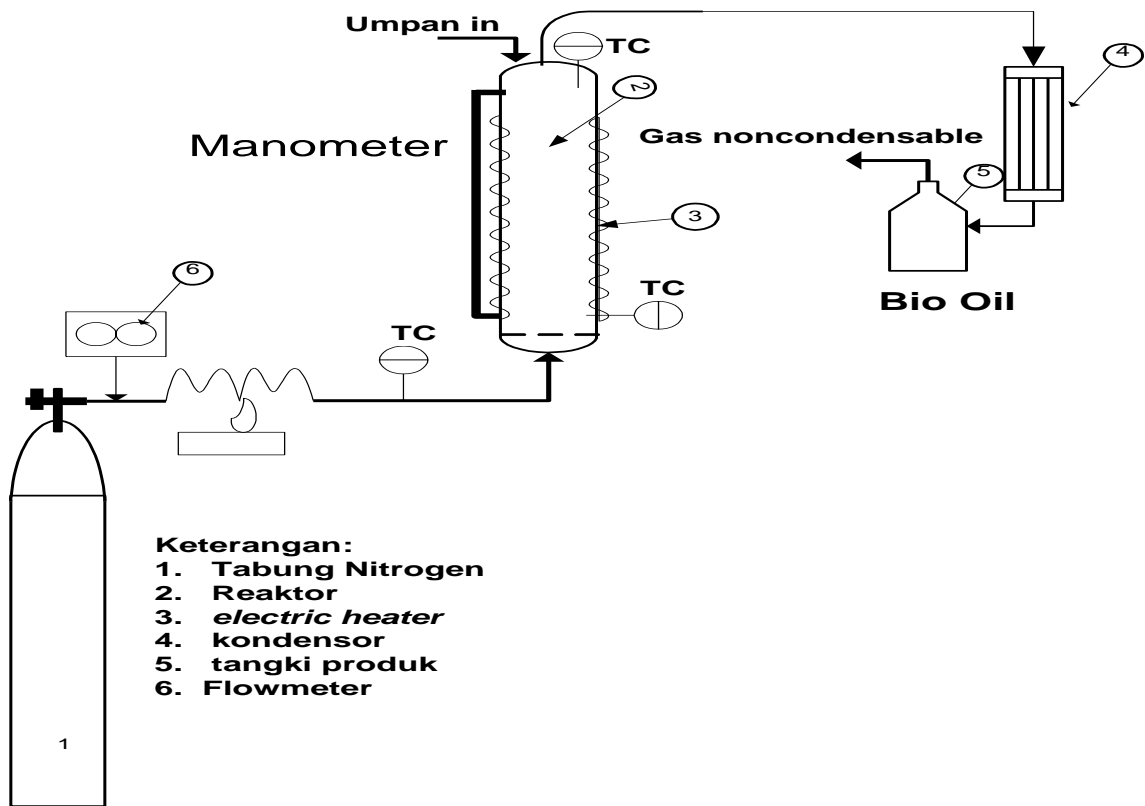
Bahan yang digunakan pada penelitian ini : biomassa yaitu kulit durian, gas nitrogen sebagai gas pembawa, pasir silika sebagai agen fluidisasi, es batu dan air sebagai pendingin. Alat yang digunakan adalah reaktor pyrolizer, kondensor, kompor gas, pemanas elektrik, tabung gas LPG, tabung gas

nitrogen, manometer, regulator volt, timbangan digital, multimeter, dan sensor suhu.

Prosedur

Bahan baku dikeringkan terlebih dahulu sampai beratnya konstan, kemudian bahan baku dikecilkan ukurannya sampai lolos ayakan 40 mesh dan 50 mesh. Pyrolizer diisi dengan pasir silika yang dipanaskan sampai dengan kondisi operasi yang diinginkan yaitu pada suhu 500°C dan 600°C, laju pemanasan sebesar 100°C/min dan 200°C/min. Setelah itu, bahan baku dipirolisis kemudian gas yang terbentuk dikondensasi untuk mendapatkan *bio-oil*. Lalu *bio-oil* yang terbentuk dianalisis. Analisis yang dilakukan adalah yield bio-oil yang dihasilkan.

Skema Rangkaian Peralatan Penelitian



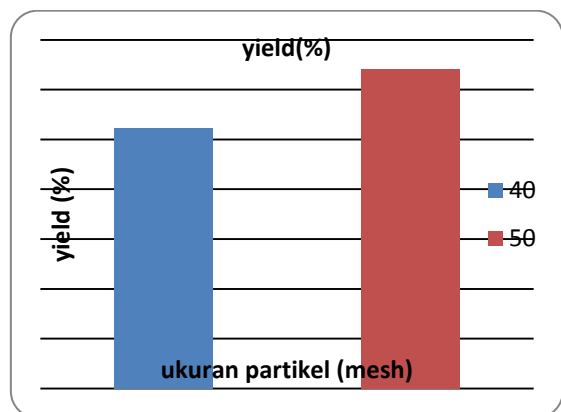
Gambar 1. Skema alat penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

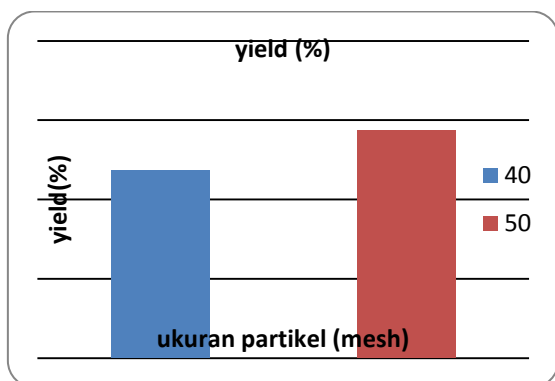
Pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Proses ini menghasilkan uap organik, gas pirolisis dan arang. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai bio-oil.

Yield

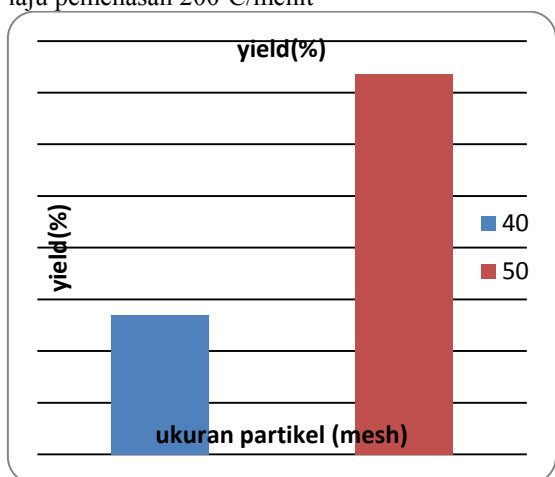
Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan bio-oil dengan bahan baku kulit durian dengan memvariasikan kondisi operasi temperatur pirolisis 500°C dan 600°C, ukuran partikel 40 mesh dan 50 mesh, serta laju pemanasan 100°C/menit dan 200°C/menit, dan pengaruhnya terhadap yield bio-oil yang ditunjukkan oleh gambar 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4



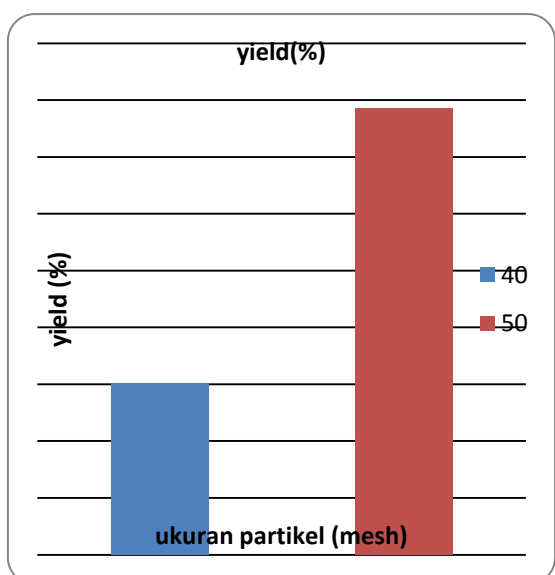
Gambar 2.1. Pengaruh kondisi operasi terhadap yield bio-oil pada temperatur pirolisis 500°C dan laju pemanasan 100°C/menit



Gambar 2.2. Pengaruh kondisi operasi terhadap yield bio-oil pada temperatur pirolisis 500°C dan laju pemanasan 200°C/menit



Gambar 2.3. Pengaruh kondisi operasi terhadap yield bio-oil pada temperatur pirolisis 600°C dan laju pemanasan 100°C/menit



Gambar 2.4. Pengaruh kondisi operasi terhadap yield bio-oil pada temperatur pirolisis 600°C dan laju pemanasan 200°C/menit

Pada proses pirolisis kulit durian dengan kondisi operasi temperatur pirolisis 500°C, ukuran partikel 40 mesh dan laju reaksi 100°C/menit dihasilkan yield bio-oil sebanyak 10,48%, pada temperatur pirolisis 500°C, ukuran partikel 40 mesh dan laju pemanasan 200°C/menit dihasilkan yield sebanyak 11,83%. Pada temperatur 500°C, ukuran partikel 50 mesh, dan laju pemanasan 100°C/menit dihasilkan yield sebanyak 12,84%. Pada temperatur 500°C, ukuran partikel 50 mesh dan laju pemanasan 200°C/menit dihasilkan yield sebanyak 14,36%.

Pada temperatur 600°C, ukuran partikel 40 mesh, dan laju pemanasan 100°C/menit dihasilkan yield sebanyak 13,35%. Pada temperatur 600°C, ukuran partikel 40 mesh dan laju pemanasan 200°C/menit dihasilkan yield sebanyak 14,01%. Pada temperatur 600°C, ukuran partikel 50 mesh, dan laju pemanasan 100°C/menit dihasilkan yield sebanyak 15,68%.

Pada temperatur 600°C, ukuran partikel 50 mesh dan laju pemanasan 200°C/menit dihasilkan yield sebanyak 16,43%.

Pada proses ini dengan memvariasikan kondisi operasi didapat yield terbanyak pada kondisi temperatur pirolisis 600°C, ukuran partikel 50 mesh, dan laju pemanasan 200°C/menit yaitu sebanyak 16,43%. Hal ini dikarenakan kondisi temperatur yang tinggi, ukuran partikel yang lebih kecil dan laju pemanasan yang cukup besar. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260°C, selulosa pada 240-350°C dan lignin pada suhu diatas 300-700°C. Hasil yield terbanyak pada temperatur 600°C, karena pada temperatur tersebut hemiselulosa, selulosa dan lignin dapat terdegradasi sehingga menghasilkan yield yang lebih besar. Semakin kecil ukuran partikel dan semakin besar laju pemanasan yang digunakan maka semakin banyak pula yield yang dihasilkan, sehingga pada ukuran partikel 50 mesh dan laju pemanasan 200 °C/menit dihasilkan yield bio-oil yang lebih besar.

| Run | Temperatur Pirolisis (oC) | Ukuran Partikel (mesh) | Laju Pemanasan (oC/min) | yield (%) |
|-----|------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------|
| 1 | 500 | 40 | 100 | 10,48 |
| 2 | | | 200 | 11,83 |
| 3 | 500 | 50 | 100 | 12,84 |
| 4 | | | 200 | 14,36 |
| 5 | 600 | 40 | 100 | 13,35 |
| 6 | | | 200 | 14,01 |
| 7 | 600 | 50 | 100 | 15,68 |
| 8 | | | 200 | 16,43 |

Tabel 3. Hasil Penelitian

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

5. Pirolisis kulit durian dengan menggunakan temperatur yang lebih tinggi dapat menghasilkan yield bio-oil yang lebih banyak.
6. Pirolisis kulit durian dengan menggunakan ukuran partikel yang lebih kecil dapat menghasilkan yield bio-oil yang lebih banyak.
7. Pirolisis kulit durian dengan menggunakan laju pemanasan yang lebih tinggi dapat menghasilkan yield bio-oil yang lebih banyak

DAFTAR PUSTAKA

- Judoamidjojo, R.M., E.G. Said dan L. Hartoto. 1989. *Biokonversi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Robert C. Brown, 2001. *Fast Pyrolysis and Bio-Oil Upgrading*. Iowa State University.

**PERANCANGAN TUNGKU PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH
UNTUK KAPASITAS DAYA 160 KW**

Imron Rosyadi,ST dan Dr.Ir. Ari Darmawan Pasek

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara - Institut Teknologi Bandung

ABSTRACT

Incineration technology (incenerator plant) is expected to provide environmentally friendly solutions to the problems of municipal solid waste are increasing with the increase of population every year. These tools may well reduce the volume of waste, can also take advantage of the heat into electricity (PLTSa). This study aimed to design a PLTSa combustion furnace for with with a capacity of 160 kW power generator. It's intended to reduce small waste volume in a campus, hotel, hospital or small industries.

Characteristics of the waste content of moisture, heating value and chemical composition. It's influence on the design of the furnace, so that needs to be analyzed first. This design is used on some software such as Cycle Tempo, Firecad, Flic and Fluent. Cycle Tempo program aims to obtain thermodynamic equilibrium, mass and energy of PLTSa unit which includes the turbine, condenser, pumps, deaerator and the boiler. While Firecad used to obtain the main dimensions of the boiler. Fluent and Flic used for modeling the furnace operating conditions and gain parameters.

The results of software simulation iterated and matched with each other simultaneously to achieve the desired operating conditions and convergent. It's design can handle approximately 10.8 tons of waste per day with water content below 40%. The temperature of the combustion of waste generated up to 900 °C to 1200°C so the gas NOx and dioxins can be avoided.

Keywords: Incenerator plant, Cycle Tempo, Firecad, Flic, Fluent

Sampah merupakan konsekuensi dari aktifitas manusia. Keberadaan sampah ini akan semakin meningkat seiring dengan semakin padatnya jumlah penduduk disuatu daerah. Penyelesaian permasalahan sampah ini tentunya tidaklah mudah terutama dikota-kota besar yang menjadi pusat industri dan perdagangan seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Tangerang, Bekasi, dimana jumlah penduduk semakin padat seiring dengan bertambahnya para pendatang serta angka kelahiran. Berdasarkan data tentang Volume Rata-Rata Timbunan Sampah Harian Kota Metropolitan di Indonesia Tahun 2007 [1] diketahui bahwa potensi timbunan sampah kota di Indonesia meningkat dari hari ke hari seiring dengan penambahan penduduk setiap tahunnya. Tempat pembuangan akhir atau sering di singkat dengan TPA adalah suatu kawasan yang disiapkan secara khusus oleh pemerintah untuk menampung sampah sisa buangan dari seluruh kegiatan masyarakat. TPA hanya ada di daerah perkotaan, karena memang masyarakat di kota tidak mengolah sendiri sampah mereka. Pengelolaan sampah di banyak kota di Indonesia akan mengalami persoalan dengan habisnya masa pakai TPA, sementara lokasi TPA pengganti semakin sulit di peroleh sehubungan dengan terbatasnya lahan dan meningkatnya penolakan masyarakat terhadap keberadaan TPA, khususnya yang terletak di sekitar pemukiman penduduk.

Dengan demikian perlu kebijakan pengolahan yang lebih jitu dari pemerintah dalam mengelola

keberadaan sampah. Pemanfaatan sampah sebagai energi yang termafaatkan (waste to energy) nampaknya menjadi solusi yang paling baik. Pengolahan sampah menjadi energy (waste to energy) telah banyak diterapkan di beberapa negara maju. Pada tahun 2003 negara perancis memiliki 210 unit PLTSa, Jerman 59 unit PLTSa, Italia 32 unit PLTSa, dan banyak negara Uni Eropa yang telah memanfaatkan teknologi ini [2]. Di negara Asia juga sudah mulai banyak yang menerapkan teknologi ini. Negara Cina pada Desember 2002 sudah terbangun 19 unit incenerator.

2. TUJUAN PENELITIAN

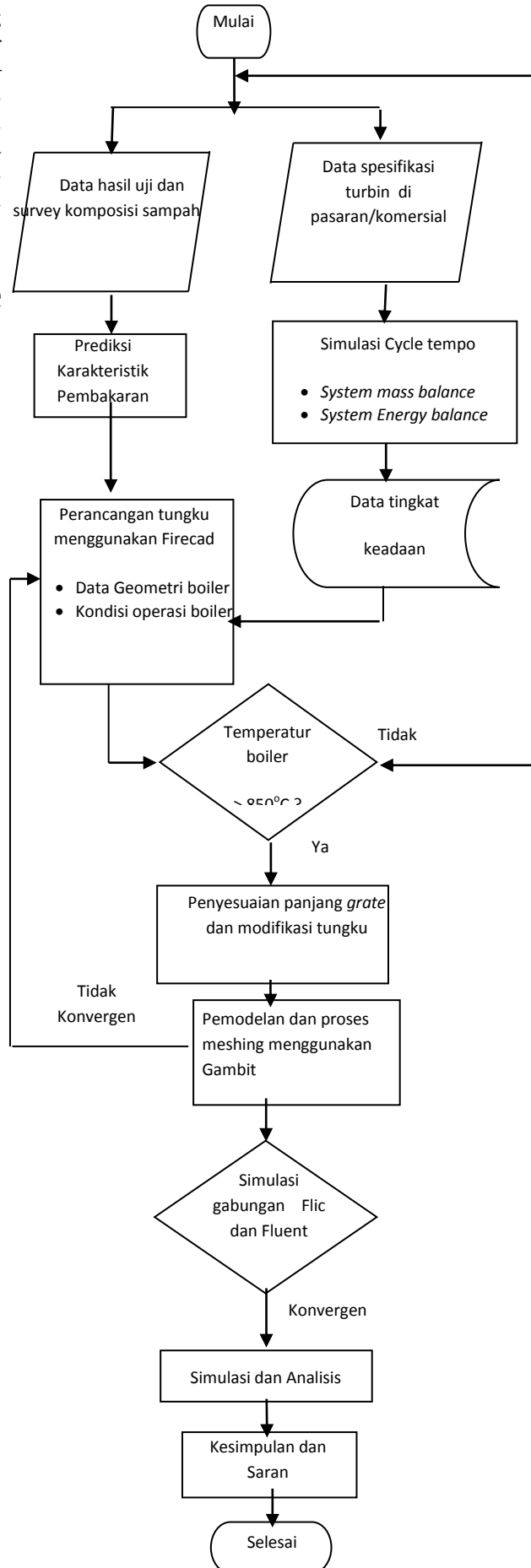
1. Menganalisis potensi sampah yang ada di kampus ITB untuk bisa dijadikan PLTSa / incenerator
2. Menganalisis secara termodinamika bahan bakar sampah sebagai sumber energi pembangkit listrik dengan siklus Rankine
3. Merancang tungku pembakaran sampah untuk kapasitas 160 kW yaitu berupa dimensi tungku, distribusi temperatur dan pengaruh beberapa parameter terhadap kondisi temperatur di dalam tungku

3. METODOLOGI PENELITIAN :

Perancangan tungku dimulai dengan memilih jenis turbin uap untuk pembangkit listrik tenaga sampah.

Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) yang dirancang memiliki kapasitas daya output generator 160 kW. Data ini mengacu pada turbin uap – generator yang ada di laboratorium thermal Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung. Data operasional turbin didapat dari data yang ada dipasaran yang mendekati dengan jenis turbin yang ada di laboratorium yaitu produk dari GE Steam turbine generators :

Daya turbin : 190 kW
 Tekanan uap masuk turbin : 24.12 bar
 Temperatur : 288 °C

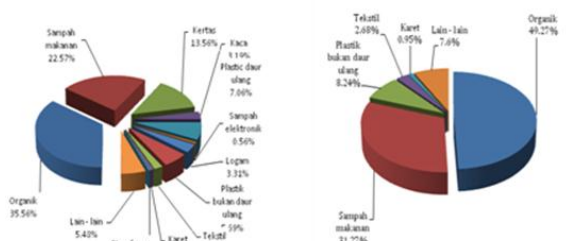


Selain data turbin, tahap pertama dalam merancang turbin adalah menganalisis karakteristik sampah. Analisa ini bertujuan untuk menguji kelayakan sampah untuk dijadikan bahan bakar. Berikut adalah diagram alur penelitian yang akan dilakukan dalam

| Kandungan air (%) | Volatile matter | Karbon padat | Abu |
|-------------------|-----------------|--------------|-----|
| 0 | 65,761 | 14,239 | 20 |
| 10 | 57,541 | 12,459 | 20 |
| 20 | 49,321 | 10,679 | 20 |
| 30 | 41,101 | 8,899 | 20 |
| 40 | 32,880 | 7,120 | 20 |
| 50 | 24,660 | 5,340 | 20 |
| 60 | 16,440 | 3,560 | 20 |

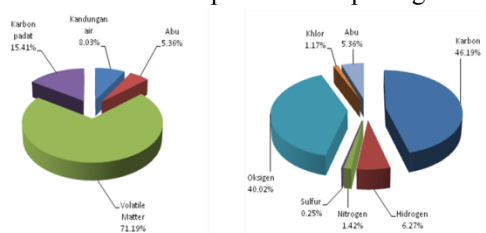
merancang tungku

Data dari karakteristik sampah didapat dari penelitian sebelumnya [3], dimana sampel diambil dari sampah kota Bandung. Pengambilan sampel dilakukan dengan terlebih dahulu mengadakan survei sampah kota Bandung. Komponen sampah kota Bandung umumnya terdiri dari daun, kayu, sampah makanan, kertas, kaca, plastic dan beberapa komponen sampah yang lain. Masing – masing komponen sampah tersebut kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok komponen sampah berdasarkan jenis fisiknya, hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam proses pengklasifikasian jenis sampah, dimana sampah yang dihasilkan oleh masyarakat kota Bandung sangat bervariasi. Gambar 2 adalah hasil survey berupa komposisi fisik sampah masyarakat kota Bandung.



Gambar 2. Komposisi Fisik Sampah

Sampel yang telah dikelompokkan kemudian di uji di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara (TekMira) dalam kondisi *Air dry bases* (Adb). Hasil pengujian dilaboratorium berupa komposisi hasil uji proximate dan ultimate diperlihatkan pada gambar



3.2. Komposisi Proximate

Komposisi Ultimate

Gambar 3. Komposisi Ultimate dan proximate Sampah kondisi adb

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Komposisi Sampah

Untuk prediksi komposisi bahan bakar dan nilai kalor *as received* maka dari data hasil pengujian tersebut harus diolah dahulu menjadi komposisi bahan bakar kondisi bebas kandungan air dan abu (*moisture and ash free*) basis / MAF). Setelah didapat hasil perhitungan untuk kondisi MAF, maka dapat diprediksikan komposisi sampah dalam keadaan *as received* seperti pada tabel 1 dan 2.

Tabel .1 Komposisi proximate kondisi *as received*.

Tabel 3.2 Komposisi ultimate kondisi *as received*.

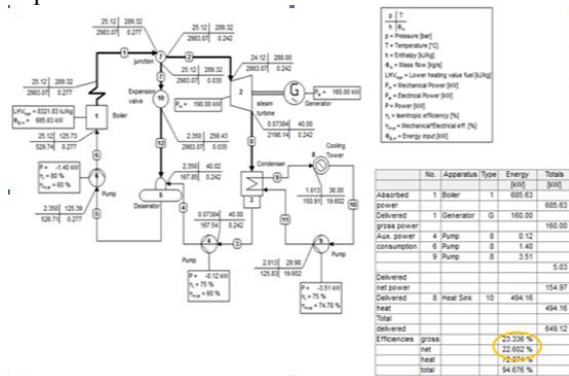
| Kandungan air (%) | Abu | Karbon | Hidrogen | Nitrogen | Sulfur | Oksigen | Klorin |
|-------------------|-----|--------|----------|----------|--------|---------|--------|
| 0 | 20 | 38,768 | 5,260 | 1,190 | 0,208 | 33,591 | 0,882 |
| 10 | 20 | 33,922 | 4,603 | 1,041 | 0,182 | 29,392 | 0,859 |
| 20 | 20 | 29,076 | 3,945 | 0,892 | 0,156 | 25,193 | 0,737 |
| 30 | 20 | 24,230 | 3,288 | 0,743 | 0,130 | 20,994 | 0,614 |
| 40 | 20 | 19,384 | 2,630 | 0,595 | 0,104 | 16,795 | 0,491 |
| 50 | 20 | 14,538 | 1,973 | 0,446 | 0,078 | 12,597 | 0,368 |
| 60 | 20 | 9,692 | 1,315 | 0,297 | 0,052 | 8,398 | 0,246 |

Pada kondisi *as received* fraksi massa abu diperkirakan sebesar 20%, harga ini diambil berdasarkan fraksi massa abu yang umumnya dihasilkan dari proses pembakaran sampah. Komposisi sampah kondisi *as received* sangat beragam, biasanya antara 40% sampai dengan 60%. Menurut referensi dari penelitian sebelumnya [3] komposisi kimia sampah berdasarkan diagram tanner maksimum kandungan air pada sampah adalah 50%, akan tetapi yang layak secara ekonomi adalah 40%. Untuk itu design tungku yang akan dirancang selanjutnya adalah mengacu pada komposisi sampah dengan kandungan air 40%.

4.2 Perancangan Siklus Pembangkit Uap Menggunakan Perangkat Lunak Cycle Tempo

Sebelum kita merancang tungku pembakaran, kita perlu merancang sistem thermal dari pembangkit listrik tenaga uap. Sistem thermal secara keseluruhan dikenal dengan siklus pembangkit uap, dimana pengkajiannya dilakukan berdasarkan ilmu termodinamika.. Untuk itu pada perancangan ini dibantu dengan perangkat lunak Cycle Tempo versi 5. CycleTempo merupakan perangkat lunak yang

digunakan untuk menganalisis kondisi operasi dari masing – masing peralatan pada sistem pembangkit listrik. Pada perancangan dengan perangkat lunak Cycle Tempo, uap ekstraksi diambil dengan membocorkan uap di daerah sebelum masuk turbin dan setelah keluar turbin. Keduanya dibandingkan efisiensinya dengan apabila pada turbin sudah terdapat deaerator. Hasil tersebut juga dibandingkan dengan simulasi system tenaga uap dimana ekstraksi berasal turbin. Efisiensi thermal paling tinggi dihasilkan pada ekstraksi langsung yang diambil dari turbin yaitu sebesar 23.153% (*Net Efficiency*). Sedangkan pada ekstraksi yang diambil setelah turbin adalah yang paling kecil (12.775 %) hal ini disebabkan karena tekanan pada saat keluar turbin dijaga sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer agar bisa diambil untuk uap ekstraksi. Hal ini menyebabkan energy banyak terbuang pada saat masuk kondensor, karena di kondensor tekanan dijaga pada tekanan rendah untuk proses kondensasi uap.

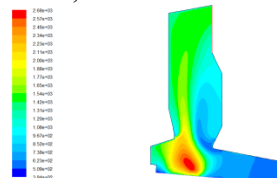


Gambar 4 . Hasil simulasi perangkat lunak Cycle Tempo

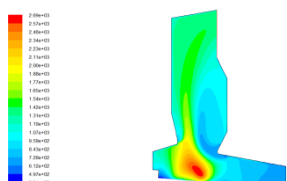
4.3 Simulasi lanjutan dengan perangkat lunak Firecad, Flic dan Fluent

Setelah dilakukan simulasi CycleTempo kemudian untuk boiler dilakukan simulasi dengan perangkat lunak Firecad sehingga menghasilkan dimensi tungku /boiler.

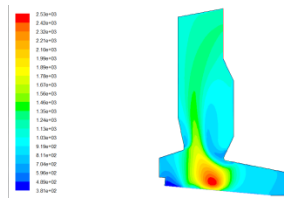
Dimensi tersebut kemudian dimodifikasi sehingga didapatkan kondisi operasi sesuai dengan yang diinginkan dengan cara menggabungkan antara simulasi firecad , flic dan fluent.



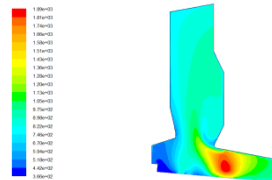
Kandungan air 20%



Kandungan air 30%



Kandungan air 40%



Kandungan air 50%

Gambar 5 . Hasil simulasi Fluent

Dari hasil simulasi dengan variasi kadar air seperti gambar di atas dapat dilihat pengaruh kandungan air terhadap kontur temperatur pada tungku dengan menggunakan MSW yang memiliki kandungan air 10%, 20% dan 30%, 40% dan 50% ,*excess air* 80% dan *primary air* 80%. Pada kandungan air 10% temperatur superheater berada pada daerah 931.51K – 1496.1K dengan temperatur rata-rata (1073.702 C), sedangkan pada kadar air 20% menurun dengan daerah temperatur 919.77 – 1484.6 K dan temperatur rata-rata 1330K (1056.84 C). Pada kadar air 30% temperatur superheater berada pada daerah temperatur 908.19 – 1406.5K dengan temperatur rata-rata 1289.8 K (1016.7 C) . Pada kadar air 10% sampai 30% temperatur yang dicapai pada superheater sangat tinggi yaitu berada diatas 1000 C, akan tetapi masih pada batas yang diijinkan yaitu berada dibawah 1200 C untuk menghindari terjadinya gas dioxin. Temperatur daerah superheater berada pada 875.69 - 1245.9 K dengan temperatur rata-rata 1180.8 K (907.66 C). Temperatur ini adalah yang paling sesuai untuk kondisi operasi pembakaran. Untuk bahan bakar dengan kadar air 50% dihasilkan temperatur yang paling rendah dengan daerah temperatur pada superheater 722.24 K – 915.14 K dan temperatur rata-rata 879.5 K (606.35 C). Proses pembakaran pada kadar air 50% tidak terbakar sempurna, dimana volatile matter selesai terbakar pada bagian akhir bed. Hal ini harus dihindari karena banyak panas yang terbuang bersama abu bahan bakar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil uji komposisi, diketahui bahwa sampah kota bandung memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dengan kandungan air pada kondisi as receive berkisar 40 sampai 60% , akan tetapi yang layak digunakan adalah 40% untuk mencapai kondisi operasi pada tungku sesuai yang diinginkan

2. Darih hasil simulasi Cycletempo, diketahui bahwa model design dengan ekstraksi uap diletakkan sebelum masuk turbin sesuai untuk design pembangkit tenaga uap dengan daya 160 kW. Efisiensi yang dihasilkan dari system ini mencapai 22.602%.
3. Pada kadar air 40% . *excess air* 80% dan kadar abu 20% kondisi operasi yang paling baik adalah pada kecepatan 3 m/jam dan 4 m/jam dengan kondisi operasi mendekati hasil simulasi firecad , dimana pada kecepatan 3m/jam temperatur rata rata adalah 934.62 C, sedangkan pada kecepatan 4 m/jam adalah 907.66 C.
4. Untuk kadar air 10%, 20% dan 30% akan dihasilkan temperatur yang lebih tinggi. Semakin rendah kadar air, maka temperature pembakaran semakin tinggi . Akan tetapi bahan bakar sampah harus dipre treatment dahulu untuk mencapai kadar air yang diinginkan , hal ini membutuhkan tambahan energi.
5. Bahan bakar dengan kadar air 50% tidak dapat menghasilkan pembakaran yang baik karena nilai kalor yang rendah, panas pembakaran bergeser kekanan sehingga temperatur abu yang dibuang masih sangat tinggi yang berarti banyak kalor yang terbuang dan tidak terpakai.

5.2 Saran

- 1 . Dibutuhkan analisis lebih detail untuk kondisi grate sehingga perancangan tungku ini dapat lebih sempurna.
2. Pemilihan material dan proses manufktur yang baik dapat memenuhi hasil racangan yang telah dibuat.
6. Pengkondisian bahan bakar sebelum masuk ruang bakar harus dillakukan agar didapat bahan bakar dengan kadar air yang diinginkan dan lebih homogen.

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://narasibumi.blog.uns.ac.id/2009/04/17/kondisi-persampahan-kota-di-indonesia/>
2. European Commission (2006), *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*
3. Gultom, K.W. (2009), *Desain Awal Pembangkit Uap Daya 800 kW dengan Bahan Bakar Sampah*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
4. Perry, R.H., Green, D.W., *Perry's Chemical Engineers Handbook, 7th edition.*
5. Simanjuntak ,M E. (2010), *Perancangan Awal Dan Simulasi Pembakaran Tungku Berbahan Bakar Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pltu Berkapasitas 3 MW*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

**Studi Awal Kelayakan Ekonomi Pabrik Torefaksi Sampah Perkotaan menjadi Bahan Bakar Padat
Setara Batubara Skala Pilot Berkapasitas 25 Ton per Jam**

Amrul^a, Aryadi Suwono^b, Toto Hardianto^b, Darmawan Pasek^b

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNILA
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung
E-mail: amrul@students.itb.ac.id

^b Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganeca 10, Bandung, Indonesia
Telp. (022) 2502342, Fax. (022) 2502342

E-mail: aryadi@termo.pauir.itb.ac.id, ari@termo.pauir.itb.ac.id, toto@termo.pauir.itb.ac.id,

Abstract

General municipal solid waste (MSW) management through open dumping in landfills has not provided complete solutions. One drawback is that the ability of transporting waste to landfill is smaller than the production of MSW per day, so leaving piles of waste that a problem for the city community. If it is analyzed further, the components of MSW, which is dominated by biomass potentially as source of new and renewable energy. MSW processing technologies through torrefaction proved able to raise its quality to a solid fuel that coal equivalent. Waste torrefaction experiment that conducted so far using a laboratory-scale equipment with batch system, need to be developed towards an industrial scale.

In this paper, we done a preliminary feasibility study in economic aspect of a pilot plant of continuous MSW torrefaction with capacity about 25 tons per hours. The analysis based on the ability of solid fuel economical value to cover the cost of plant operations. The results of this study indicate that the plant of continuous MSW torrefaction is economically promising enough to be developed.

Keywords: torrefaction, municipal solid waste (MSW), solid fuel, economic feasibility

Energi primer dunia saat ini masih didominasi oleh bahan bakar fosil, yakni minyak bumi, gas alam dan batubara. Ketiga jenis bahan bakar tersebut merupakan cadangan energi yang tidak bisa diperbarui dan akan habis dalam waktu singkat. Kondisi di Indonesia lebih memprihatinkan karena penggunaan sumber energi lain porsinya masih kecil, misalnya hidroelektrik. Bahkan untuk energi energi nuklir, penggunaannya belum dimulai sama sekali, sementara di negara-negara maju ia telah menjadi sumber energi primer yang signifikan.

Meningkatnya populasi penduduk dan semakin besarnya konsumsi energi per kapita menyebabkan sumber energi fosil tersebut semakin cepat menipis dan harganya juga semakin tinggi. Untuk menjamin keamanan pasokan energi nasional di masa depan, perlu kiranya segera mencari sumber energi baru sebagai energi alternatif yang bersifat terbarukan, sebagaimana tertuang dalam sasaran bauran energi (*energy mix*) nasional 2025. Sumber energi alternatif yang cukup menjanjikan dan potensinya paling besar di dunia adalah biomassa. Salah satu sumber biomassa yang belum banyak mendapat perhatian adalah biomassa yang berasal dari sampah padat perkotaan.

Jumlah sampah kota yang terus meningkat menjadikannya sumber masalah bagi masyarakat kota, apalagi dalam penanganannya belum ada solusi mendasar. Sebagai contoh, data dari PD. Kebersihan kota Bandung yang diperoleh pada tahun 2006 menginformasikan bahwa produksi sampah kota

Bandung tahun 2004 mencapai 7.500 m³/hari, atau setara dengan 2,7 juta m³/tahun. Penimbunan

sampah pada tempat pembuangan akhir (TPA) yang selama ini menjadi solusi, dinilai tidak efektif karena menimbulkan permasalahan baru lainnya. Hasil studi terhadap sampah kota Bandung menunjukkan bahwa komposisi sampah terbesar berasal dari komponen organik, yakni mencapai 84,63% (% berat), yang berpotensi digunakan sebagai bahan bakar [1].

Penggunaan sampah kota sebagai bahan bakar dapat menjadi solusi alternatif dalam mengatasi kelangkaan sumber energi. Tetapi penggunaannya secara mempunyai banyak kendala karena sampah terdiri dari multi komponen yang sulit untuk dikontrol kualitas pembakarannya, juga karena kandungan air yang tinggi, nilai kalor dan densitas energi yang rendah serta sulit dalam penyimpanan. Untuk memperbaiki sifat sampah sebagai bahan bakar padat, diperlukan proses yang khusus, di antaranya adalah proses termal yang dapat mendekomposisi komponen sampah sehingga dapat menaikkan nilai kalornya. Proses ini dikenal dengan torefaksi.

Torefaksi adalah proses perlakuan panas pada rentang temperatur tertentu pada tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Pada rentang temperatur tersebut diharapkan terjadi proses dekomposisi kimia dari fraksi-fraksi tertentu. Torefaksi pada biomassa biasanya terjadi pada rentang temperatur 200-300°C, di mana pada rentang temperatur ini fraksi yang diharapkan mengalami dekomposisi kimia adalah hemiselulosa. Torefaksi pada biomassa

berhasil meningkatkan kualitas bahan bakarnya, di antaranya adalah kandungan air yang rendah, densitas energi yang tinggi, penurunan rasio O/C sehingga nilai kalor meningkat, tidak menyerap air, dan lebih getas [2].

TOREFAKSI SAMPAH

Tujuan utama torefaksi sampah adalah untuk mendapatkan bahan bakar padat yang nilai kalornya setara dengan batubara subbituminous C menurut kualifikasi standard ASTM D 388. Inovasi pada topik penelitian ini adalah peningkatan densitas energi dari sampah padat perkotaan yang bersifat heterogen, dengan cara mendekomposisi fraksi *lignocellulose* secara simultan melalui proses torefaksi pada temperatur 200-300°C, menjadi bahan bakar ramah lingkungan setara dengan batubara subbituminous C. Dalam eksperimen proses torefaksi, parameter utama penentu adalah temperature dan waktu tinggal, kedua parameter ini akan dikombinasikan pada seluruh spesimen untuk mendapatkan hasil terbaik.

Eksperimen torefaksi sampah yang telah dilakukan oleh tim peneliti di Lab. Termodinamika ITB dalam beberapa tahun terakhir ini berhasil meningkatkan kualitas sampah menjadi bahan bakar padat dengan nilai kalor setara batubara subbituminous [3]. Bahan bakar padat yang dihasilkan dari prospek komersial yang cukup bagus, mengingat perannya untuk pemenuhan kebutuhan sumber energi alternatif terbarukan dan sekaligus mereduksi jumlah sampah sehingga menjadi salah satu solusi bagi permasalahan sampah perkotaan.

Jumlah sampah kota yang cenderung meningkat menyebabkan biaya yang dikeluarkan untuk penanganannya juga semakin membengkak. Di sisi lain, jika sampah perkotaan dapat diolah menjadi suatu produk yang bernilai, maka bukan hanya akan mengurangi ongkos yang dikeluarkan, tapi juga bisa diperoleh keuntungan ekonomis. Bahan bakar padat produk torefaksi ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, misalnya batu bara, sehingga dalam penggunaannya dapat mengurangi emisi CO₂ ke lingkungan.

Untuk menjembatani hasil penelitian yang sudah diperoleh dengan rencana memproduksi bahan bakar produk torefaksi sampah skala industri, maka dalam penelitian ini dilakukan studi awal tentang kelayakan ekonomi pabrik torefaksi sampah skala pilot kapasitas 25 ton/jam.

DISAIN MODEL PABRIK TOREFAKSI SAMPAH KONTINU

Disain Pabrik

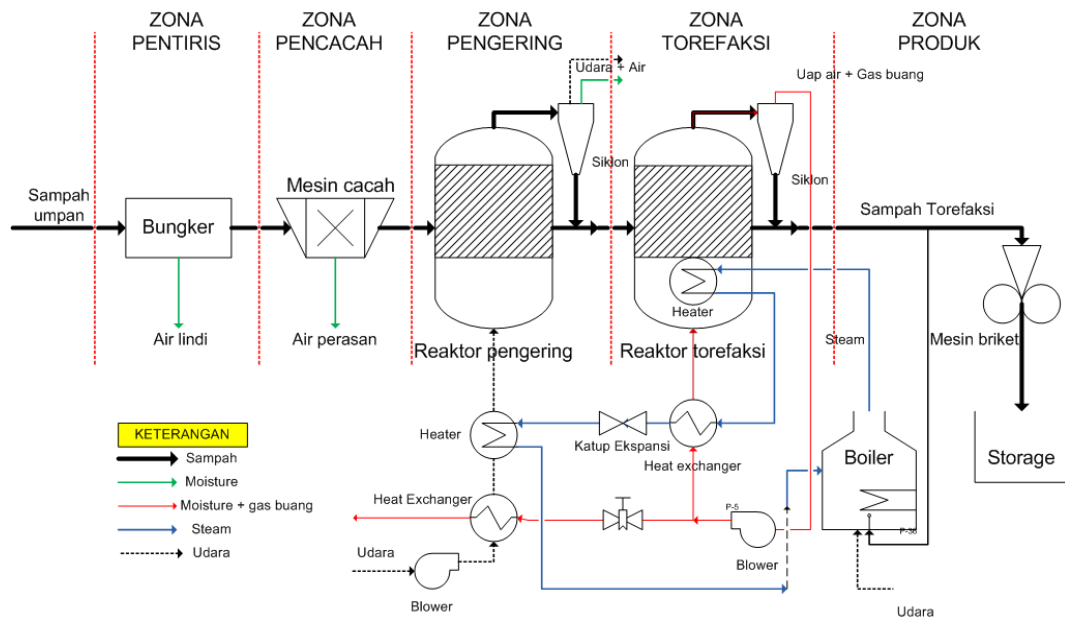
Disain yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sebuah model pabrik torefaksi sampah

kontinu berkapasitas 25 ton/jam. Pabrik ini akan mengolah sampah perkotaan menjadi bahan bakar padat yang bernilai kalor tinggi setara dengan batubara subbituminous. Peralatan utama pabrik terdiri dari sebuah bunker, mesin pencacah sampah, reaktor pengering, reaktor torefaksi, mesin briket produk dan sebuah boiler.

Bahan baku pabrik adalah sampah kota yang didominasi oleh komponen organik dan plastik bukan daur ulang. Sampah yang baru diterima dikumpulkan dalam sebuah bunker yang berfungsi sebagai *storage* bahan baku dan sekaligus tempat pentirisan sampah. Sampah disimpan di bunker selama tiga sampai lima hari dan diharapkan kandungan airnya dapat berkurang sebesar 20%. Dengan asumsi kandungan air sampah segar sekitar 60-80%, maka pada saat keluar bunker kandungan air sampah diharapkan turun menjadi 40-60%. Untuk itu, sebagai peralatan tambahan, dalam disain pabrik ini juga diperhitungkan sarana pengolahan air lindi yang jumlahnya mencapai 15-20% dari kapasitas bunker.

Setelah keluar dari bunker, selanjutnya sampah diteruskan ke mesin pencacah. Pencacahan sampah bertujuan untuk mereduksi dan mendapatkan ukuran geometri yang relatif seragam. Di samping itu, pada proses pencacahan ini kandungan air sampah diharapkan juga bisa turun sekitar 5-10%. Sampah yang telah dicacah selanjutnya dikirim ke reaktor pengering. Proses pengeringan memanfaatkan udara yang sebelumnya dipanaskan oleh uap yang keluar dari reaktor torefaksi. Temperatur udara masuk pengering sekitar 80°C dan keluar sekitar 45°C. Sampah keluar reaktor pengering pada temperatur yang sama dengan udara, yakni 45°C. Keluar dari reaktor pengering, kandungan air sampah diharapkan bisa mencapai 30%. Setelah itu sampah dimasukkan ke dalam reaktor torefaksi yang menggunakan media *inert* berupa uap air hasil penguapan proses torefaksi itu sendiri.

Temperatur torefaksi dipertahankan sekitar 275°C dan sampah ditahan dalam reaktor selama lebih kurang 20 menit. Temperatur dan waktu tinggal torefaksi diperoleh dari hasil eksperimen sebelumnya yang merupakan temperatur dan waktu tinggal optimum untuk proses torefaksi sampah. Sumber panas utama sistem berasal dari uap panas lanjut yang disuplai oleh sebuah boiler. Dalam disain ini, bahan bakar boiler diambil dari produk torefaksi sehingga sistem ini tidak memerlukan sumber energi panas eksternal. Diagram alir proses (*process flow diagram, PFD*) pabrik torefaksi sampah kontinu ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pabrik torefaksi sampah kontinu.

Balans Massa dan Energi Sistem

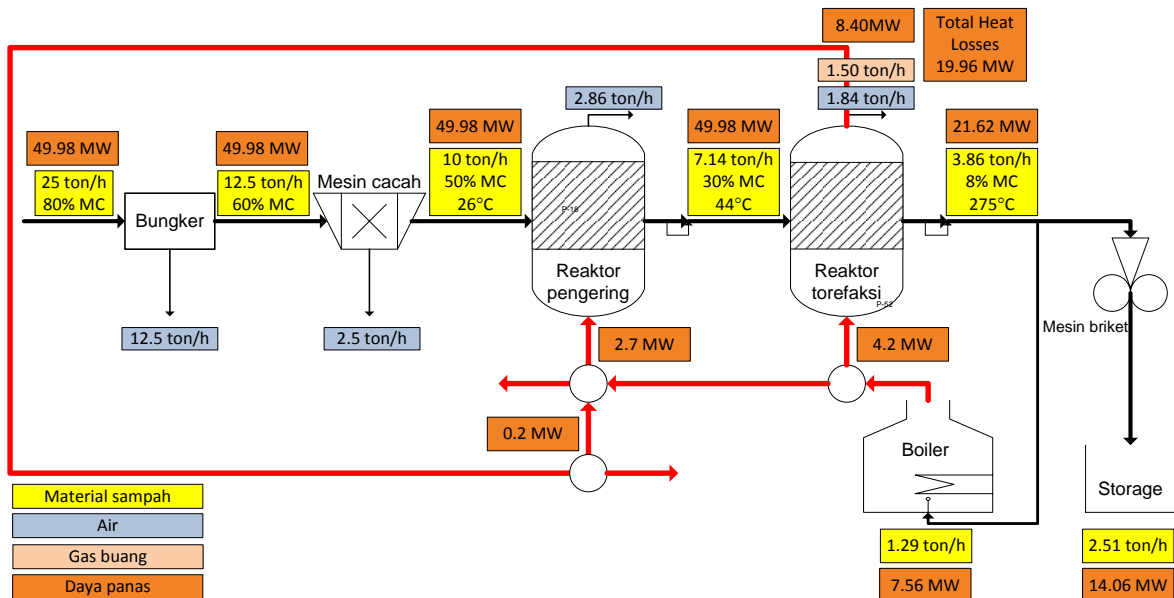
Perhitungan balans massa dan energi sistem dilakukan dengan bantuan program simulasi menggunakan perangkat lunak ASPENTM. Program simulasi ini dikembangkan dari program yang sudah ada sebelumnya untuk torefaksi gambut [4]. Dalam simulasi ini, balans massa dan energi yang dihitung adalah untuk kondisi sampah masuk pengering sampai keluar reaktor torefaksi. Parameter utama dalam perhitungan ini adalah laju sampah yang masuk reaktor pengering sebesar 10 ton/jam dengan kandungan air 50%. Sampah keluar dari reaktor pengering pada temperatur sekitar 45°C dengan kandungan air 30%. Temperatur reaktor torefaksi dipertahankan 275°C dan produksi gas hasil torefaksi adalah sekitar 30%, dengan asumsi utama, komposisi gas terdiri dari uap air (0,498%), SO₂ (0,002%), CO (0,15%) dan CO₂ (0,35%). Ringkasan parameter penting hasil simulasi dan beberapa perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 1.

Diagram alir material sampah dan energi sistem ditunjukkan oleh Gambar 2. Sampah bahan baku masuk bungker dengan laju 25 ton/jam dan keluar dalam bentuk bahan bakar padat dengan laju produksi 3,8 ton/jam. Sebanyak 1,29 ton/jam dari bahan bakar tersebut digunakan untuk konsumsi boiler, sehingga menyisakan produk netto sebesar 2,51 ton/jam.

Kebutuhan energi panas berasal dari uap panas lanjut yang disuplai oleh boiler yang mempunyai kapasitas 7,4 MW panas. Energi panas yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah sebesar 2,9 MW yang diambil dari sisa panas uap keluar reaktor torefaksi dan panas recovery. Sedangkan kebutuhan panas reaktor torefaksi itu sendiri adalah sebesar 4,2 MW.

Tabel 1. Parameter penting hasil simulasi.

| PARAMETER | SATUAN |
|--|------------------------------|
| Bungker | |
| Laju sampah masuk | 25 ton/jam |
| Kandungan air sampah | 80 % |
| Mesin pencacah | |
| Laju sampah masuk | 12,5 ton/jam |
| Kandungan air | 60 % |
| Reaktor pengering | |
| Laju sampah masuk | 10 ton/jam |
| Kandungan air | 50 % |
| Temperatur sampah keluar | 44 °C |
| Laju udara pengering | 180 ton/jam |
| Temperatur udara pengering masuk | 80 °C |
| Temperatur udara pengering keluar | 44 °C |
| Kebutuhan daya untuk pengeringan | 2,7 MW |
| Reaktor torefaksi | |
| Laju sampah masuk | 7,14 ton/jam |
| Kandungan air | 30 % |
| Temperatur proses | 275 °C |
| Laju konsumsi uap pemanas | 9,25 ton/jam |
| Laju produksi bahan bakar produk torefaksi | 3,8 ton/jam |
| Kebutuhan daya untuk torefaksi | 4,2 MW |
| Mesin Briket produk | |
| Laju pembriketan bahan bakar | 2,51 ton/jam |
| Nilai kalor bakar padat produk torefaksi (HHV) | 25200 MJ/ton 6000 kCal/kg |
| Boiler | |
| Laju konsumsi bahan bakar | 1,29 ton/jam |
| Daya keluaran (panas) | 7,4 MW |
| Efisiensi pembakaran boiler | 80 % |
| Total <i>heat losses</i> sistem | 20 % |
| Laju kebutuhan energi panas total sistem | 6,9 MW |
| Laju produksi energi panas sistem | 17,3 MW |
| Recovery energi panas sistem | 0,2 MW |



Gambar 2. Diagram alir material sampah dan energi.

SIMULASI FINANSIAL KELAYAKAN EKONOMI PABRIK

Potensi komersialisasi pembangunan pabrik torefaksi sampah kontinu cukup menjanjikan. Hal ini dapat dilihat dari dua sisi, yakni aspek lingkungan dan energi alternatif. Pengolahan sampah perkotaan menjadi suatu produk yang bernilai akan mereduksi jumlah sampah secara langsung sehingga dapat menyelesaikan sebagian problem sampah yang selama ini belum mendapatkan solusi tuntas. Bahan bakar padat produk torefaksi sampah dapat dijadikan sumber energi alternatif terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, misalnya batu bara, sehingga dalam penggunaannya dapat mengurangi emisi CO₂ ke lingkungan. Di samping itu, keberadaan bahan bakar alternatif ini sekaligus menjawab kebutuhan akan diversifikasi energi sebagaimana dicanangkan oleh pemerintah dalam kebijakan energi nasional.

Dasar kajian ekonomi kelayakan pabrik torefaksi sampah ini adalah kemampuan sistem untuk menutupi biaya investasi dan operasi pabrik yang diperoleh dari nilai ekonomis bahan bakar padat produk torefaksi dan pengalihan biaya pengolahan sampah menjadi sebagian biaya operasional pabrik dalam bentuk *tipping fee*. Kajian ekonomi dilakukan melalui simulasi finansial dengan bantuan program aplikasi microsoft excell.

Komponen utama biaya investasi terdiri dari biaya pembebasan lahan, pengerjaan sipil/bangunan, pengadaan peralatan, *engineering* dan konstruksi. Biaya investasi diperoleh dari pinjaman bank dan penjualan saham (*equity*) dengan rasio 70 banding 30%. Lama pengembalian pinjaman adalah 5 tahun setelah pabrik mulai beroperasi. Pabrik ini dirancang untuk beroperasi selama 10 tahun dengan lama

pengerjaan konstruksi sekitar 18 bulan. Biaya operasional terdiri dari biaya konsumsi listrik peralatan, upah buruh/karyawan, manajemen dan perawatan. Sumber pemasukan didapat dari penjualan bahan bakar padat produk torefaksi, yang dianggap dapat bersaing dengan harga batubara untuk kelas yang sama, yakni sekitar 500 rupiah/kg. Sumber pemasukan lain direncanakan dari *tipping fee*, yakni biaya yang dikeluarkan oleh pemerintah melalui PD Kebersihan untuk pengolahan sampah. Sebagai acuan, hasil studi kelayakan pembangunan PLTSA kota Bandung yang dilakukan oleh anggota tim peneliti [1], harga *tipping fee* mencapai 240.000 rupiah/ton. Namun dalam simulasi finansial ini, harga *tipping fee* hanya diambil 15 USD/ton atau sekitar 127.500 ribu rupiah/ton. Semua harga dalam simulasi dalam satuan US dollar. Nilai tukar dollar terhadap rupiah diambil untuk harga kurs 8500 rupiah/USD. Hasil simulasi finansial pabrik torefaksi sampah kontinu dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai total investasi adalah 3,12 juta USD (26,5 milyar rupiah) dan biaya yang dikeluarkan untuk tahun pertama operasional adalah 60.684 dollar (515 juta rupiah). Nilai total investasi dan biaya operasional yang harus dibayar pada tahun pertama setara dengan USD 34,11 ton/bahan bakar. Biaya operasional dapat ditekan karena ada pemasukan dari *tipping fee* sebesar USD 15/ton (127.500 rupiah/ton sampah). Nilai penjualan bahan bakar produk adalah USD 55/ton (467.500 rupiah/ton).

Indikasi ekonomi kelayakan pabrik dapat dilihat dari nilai *net present value* (NPV) yang cukup menjanjikan, yakni sebesar USD 1.913.197 (16,3 milyar rupiah). *Internal rate of return* (IRR) cukup tinggi, yakni 30,06% dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 2 bulan setelah pabrik beroperasi.

Tabel 2. Hasil simulasi finansial pabrik torefaksi sampah kontinu

| INPUT DATA | | OUTPUT DATA | |
|--|---|----------------------------------|---|
| A GENERAL DATA | | A COST | |
| 1 | Project Name : MSW Torrefaction Pilot Plant Project | 1 | Investment Cost of Recovery (Apply only for 1st-7th year, after that there is no more Capital Cost of Recovery) |
| 2 | Location : Bandung | 1 | Investment Cost : 2,455,535 USD 24,46 USD / MT torrefied MSW |
| 3 | Client : - | 2 | Bank Loan Interest (5 years) : 665,288 USD 6,63 USD / MT torrefied MSW |
| B ECONOMIC DATA | | 2 | Sub-Total : 3,120,823 USD 31,08 USD / MT torrefied MSW |
| 1 | Escalation | Operation Cost (1st year) | |
| | Raw MSW : 0,0% / year | 3 | Tipping Fee Raw MSW : (512,681) USD / Year (25,53) USD / MT torrefied MSW |
| | O&M Cost : 3,0% / year | 4 | Power Consumption Cost : 432,000 USD / Year 21,51 USD / MT torrefied MSW |
| | Torrefied MSW Cost : 2,5% / year | 5 | Labor, Mgmt & Office Overhead Cost (incl. Insurance) : 133,333 USD / Year 6,64 USD / MT torrefied MSW |
| 2 | Discount Rate | 6 | System Maintenance Cost : 8,032 USD / Year 0,40 USD / MT torrefied MSW |
| | Bank Loan Discount Rate : 12,00% | 7 | MSW Torrefaction cost : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW |
| | Equity Discount Rate : 12,00% | 8 | MSW transport to port : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW |
| | Bank Loan Investment Portion : 70,00% | 9 | MSW barging : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW |
| | Equity Investment Portion : 30,00% | | Sub-Total : 60,684 USD / Year 3,02 USD / MT torrefied MSW |
| | WACC : 12,00% | | TOTAL : 34,11 USD / MT torrefied MSW |
| 3 | Corporate Tax : 25,0% / year | B SELLING RATE (1st Year) | |
| 4 | Exc. Rate USD to IDR : 9,000 IDR / USD | | Torrefied MSW : 55,00 USD / MT torrefied MSW |
| C PRODUCTION DATA | | | Total Torrefied MSW : 883,520 USD / Year |
| 1 | Production Capacity | C ECONOMIC INDICATION | |
| | Torrefied MSW Output : 2,51 MT Torrefied MSW / Hour | Total Investment | |
| | Total Torrefied MSW Output : 20,080 MT Torrefied MSW / Year | 1 | Net Present Value (NPV) at 12,00% : USD 1.913.197 FEASIBLE |
| 2 | Operation | 2 | Internal Rate Return (IRR) : 30,06% FEASIBLE |
| | Torrefied MSW consumption for fuel : 1,29 MT Torrefied MSW / Hour | 3 | Payback Period : 3 years 2 months after COD |
| | Total Torrefied MSW consumption for fuel : 10,320 MT Torrefied MSW / Year | Equity Investment | |
| | Power consumption : 750 KW | 1 | Net Present Value (NPV) at 12,00% : USD 2.877.789 FEASIBLE |
| | Total power consumption : 6.000.000 KWH / Year | 2 | Internal Rate Return (IRR) : 53,19% FEASIBLE |
| | Capacity Factor : 80,00% | 3 | Payback Period : 2 years 3 months after COD |
| 3 | Availability Factor : 91,32% (8000 hour/year) | | |
| 4 | Life Time Period : 10,0 years | | |
| D COST & INVESTMENT DATA | | | |
| 1 | TOTAL INVESTMENT : USD 2.455.535 | | |
| | - EPC Cost : USD 2.028.444 | | |
| | - VAT for EPC Cost : USD 202.844 | | |
| | - Development & Other Cost : USD 60.853 | | |
| | - Financing Fees : USD 20.284 | | |
| | Total : USD 2.312.427 | | |
| | Equity : USD 693.728 30,0% | | |
| | Bank Loan : USD 1.618.699 70,0% | | |
| | - Interest During Const. (IDC) : USD 143.108 | | |
| | Equity : USD 42.932 30,0% | | |
| | Bank Loan : USD 100.176 70,0% | | |
| | Total Equity : USD 736.660 30,00% | | |
| | Total Bank Loan : USD 1.718.874 70,00% | | |
| Note : | | | |
| Development & Other Cost consists of : Other Taxes, Working Capital, Insurance, & Other Dev. Cost. | | | |
| 2 | Loan Return Period after COD : 5,0 years | | |
| 3 | Construction Period (Duration) : 18,0 months | | |
| 4 | Operation & Maintenance Cost | | |
| | Raw MSW Unit Price (Drying Fuel) : (15,00) USD / MT Raw MSW | | |
| | Electricity Cost : 0,09 USD / KWH | | |
| | Labor, Mgmt & Office Overhead Cost : 11,111,11 USD / Month | | |
| | System Maintenance : 0,50 USD / MT torrefied MSW | | |

KESIMPULAN

Dari studi awal kelayakan ekonomi pabrik torefaksi sampah kontinu kapasitas 25 ton/jam melalui simulasi finansial, dapat disimpulkan bahwa pembangunan pabrik torefaksi sampah ini cukup menjanjikan ditinjau dari sisi ekonomi. Indikasi kelayakan ini dapat dilihat dari nilai *net present value* (NPV) dan *internal rate of return* (IRR) yang cukup tinggi, yakni sebesar USD 1.913.197 (16,3 milyar rupiah) dan 30,06% dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 2 bulan setelah pabrik beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ari Darmawan Pasek, Toto Hardianto, Willy Adriansyah, dll., 2007, "Laporan Akhir Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Dengan Bahan Bakar Sampah Di Kota Bandung", LPPM ITB, Bandung.
- [2] Chen, W.H., Kuo, P.C., 2011, "Torrefaction and Co-Torrefaction Characterization of Hemicellulose, Cellulose and Lignin As Well As Torrefaction of Some Basic Constituents in Biomass", *J. Energy*, Vol. 30, 1-9.
- [3] Aryadi Suwono, Amrul, Toto Hardianto, Ari Darmawan Pasek, 2010, "Solid Fuel From Torrefied Municipal Solid Waste", *Proceeding of Renewable Energy 2010, Advanced Technology Path to Global Sustainability, Joint with 4th International Solar Energy Society*

Conference, Asia Pacific Region, 27 June-2 July, 2010, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.

- [4] Haryadi, Toto Hardianto, Ari D. Pasek, Aryadi Suwono, Riza Azhari, W. Ardiansyah, 2009, "The AspenTM Software Simulation of a Peat Torrefaction System Using RYield and SSplit Block as Reactor Model", *Proceedings of International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection (ISSEEP), 23-26 Nopember 2009, Yogyakarta, Indonesia.*

Effect of Cassava Powder Filler to Physical and Mechanical Properties of Bioplastic Based on The Sorghum Starch

Yuli Darni, Agnesslia Dermaputri
Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Lampung University
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145
E-mail: darni_yuli@yahoo.com

Abstract

The purpose of this research is to utilize the sorghum starch and chitosan as a material and to determine the effect of cassava powder as a filler rod of mechanical and physical properties of bioplastic materials. The first study is for making bioplastics sorghum starch mixture, by the ratio of chitosan 9:1, 8 : 2, 7:3, 6:4 g/g and concentration of glycerol 20%, 25%, 30%, and 40%. and look for gelatinization temperature of starch-chitosan mixture in the range 70-95°C. The results of these study obtained Young's modulus 337,93 Mpa, tensile strenght 85,75 Mpa on starch-chitosan formulations 8:2 g / g and 30% glycerol concentration the gelatinization temperature of 95°C.. Further studies with the manufacture of bioplastics sorghum starch –chitosan ratio 8 : 2 w/w and concentration of glycerol 30% by variations of cassava powder 0.5 gram, 1 grams, 1.5 grams, 2 grams, 2.5 grams. The results showed an increase in Young's modulus 1368.0742 Mpa, 91.875 Mpa tensile strength and water resistance 10.80% on the addition of cassava powder filler 2.5 grams.

Keywords : Chitosan, cassava powder, glycerol, sorghum.

Pendahuluan

Plastik merupakan polimer sintetik terbuat dari bahan baku minyak bumi yang terbatas jumlahnya dan tidak dapat diperbaharui. Penggunaan plastik sintetik juga berakibat terciptanya sampah yang sulit penanganannya sehingga dapat menyebabkan masalah lingkungan. Maka dibutuhkan adanya alternatif bahan plastik yang diperoleh dari bahan yang mudah didapat dalam jumlah besar dan murah tetapi mampu menghasilkan produk dengan kekuatan yang sama serta dapat mengatasi sampah plastik yaitu dengan membuat plastik yang dapat terurai secara biologis (plastik *biodegradable*).

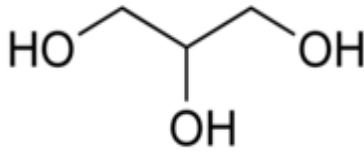
Plastik *biodegradable* atau bioplastik merupakan plastik yang terbuat dari sumber yang dapat diperbarui yaitu dari senyawa – senyawa dalam tanaman misalnya pati, selulosa, dan lignin serta pada hewan seperti kasein, protein dan lipid (Averous, 2002). Penggunaan pati sebagai bahan utama pembuatan plastik memiliki potensi yang besar karena di Indonesia terdapat berbagai tanaman penghasil pati seperti singkong, jagung, beras, pisang, sorgum dan tanaman lainnya.

Salah satu contoh pati yang dapat dibuat bioplastik adalah sorgum. Sorgum merupakan salah satu jenis tanaman serelia yang toleran terhadap kekeringan dan genangan air, dapat berproduksi pada lahan marginal, serta relatif tahan terhadap gangguan hama/penyakit. Harga sorgum yang relatif murah juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan plastik sehingga bernilai ekonomi tinggi.

Untuk memperoleh bioplastik, pati dicampur dengan kitosan dan *plasticizer* seperti gliserol, sorbitol, poli etilen glikol dan lainnya sehingga diperoleh plastik yang lebih kuat, fleksibel dan licin. Kitosan merupakan bahan kimia multiguna berbentuk serat dan merupakan kopolimer berbentuk lembaran tipis, berwarna kuning atau putih dan tidak berbau. Kitosan juga tidak beracun dan mudah terbiodegradasi. Sifat fisik khas kitosan adalah mudah dibentuk menjadi spons, larutan, gel, membran dan serat yang sangat bermanfaat dalam aplikasinya.

Plasticizer adalah zat yang ditambahkan pada polimer untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia bioplastik. Penambahan *plasticizer* menyebabkan turunnya gaya intermolekular sepanjang rantai polimer sehingga meningkatkan fleksibilitas, kekuatan dan ketahanan plastik (Li Yang, 1997). *Plasticizer* harus dapat dicampur dengan polimer dan mampu terlarut dalam solven untuk menghindari pemisahan selama pengeringan plastik film. Umumnya *plasticizer* yang digunakan untuk bioplastik adalah polyols (gliserol, sorbitol, dan polietilen glikol 400, dan lainnya), mono-, di- atau oligosakarida, *lipid*, dan turunannya. Pada kandungan *plasticizer* (gliserol atau sorbitol) yang rendah, *plasticizer* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap elastisitas film plastik berbahan pati. Fenomena ini dikenal dengan efek *antiplasticization*. Elastisitas (perpanjangan) akan meningkat dengan kandungan *plasticizer* kira-kira mencapai 15 % lebih untuk gliserol dan 27 % sorbitol. Sebaliknya *tensile strength* pada plastik akan menurun secara

kontinu dengan peningkatan kandungan *plasticizer* (Krogars, 2003).



Gambar 1. Struktur gliserol
(www.wikipedia.org/wiki/gliserol, 2011)

Pengisi adalah bahan yang ditambahkan ke dalam matriks polimer untuk menambahkan sifat – sifat kompositnya. Penambahan filler dapat mengurangi biaya, memodifikasi sifat –sifat mekanik, memberikan efek warna atau meningkatkan tekstur permukaan (Rahmatunnisa, 2009) Sifat – sifat pengisi antara lain bentuk partikel, ukuran partikel, distribusi ukuran partikel dan struktur permukaan partikel. *Filler* berfungsi untuk meningkatkan kapadatan dan kekakuan polimer serta meningkatkan modulus dan kekerasan polimer (Xantos, 2005) . Untuk menunjukkan bahwa pengisi dapat menambahkan kekuatan, pengisi harus dalam berbentuk serat atau kepingan, dengan salah satu dimensinya lebih panjang dari bagian yang lain (Rahmatunnisa, 2009). Pengisi di bagi menjadi pengisi organik dan anorganik. Contoh pengisi organik adalah kalsium karbonat, silika, kaolin dan sebagainya. Sedangkan contoh untuk pengisi anorganik adalah debu kayu, serat selulosa, lignin, dan sebagainya. Pada penelitian ini, pengisi yang digunakan adalah serbuk batang ubi kayu. Hal ini dikarenakan batang ubi kayu termasuk dalam jenis pengisi anorganik. Dan selama ini limbah batang ubi kayu belum dimanfaatkan secara optimal.

Untuk membuat plastik *biodegradable*, plastik dari bahan pati harus memiliki kesamaan sifat mekanik agar dapat menggantikan plastik sintetik. Plastik sintetik yang digunakan sebagai pembanding adalah polipropilena. Polipropilena (PP) mempunyai sifat sangat kaku, berat jenis rendah, tahan terhadap bahan kimia, asam, basa, tahan terhadap panas dan tidak mudah retak. Salah satu keuntungan penggunaan polipropilena dibanding dengan polimer lain adalah polipropilena mampu menahan zat kimia meski dipanaskan dalam suhu tinggi (800 – 900 °C). Kode nomor 5 adalah kode untuk polimer jenis polipropilen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pengisi serbuk batang ubi kayu untuk meningkatkan karakteristik fisik dan mekanik bioplastik berbahan baku sorgum. Pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Darni, dkk (2011) belum ditambahkan pengisi pada pembuatan bioplastik dengan bahan baku sorgum, dan dihasilkan bioplastik yang masih rapuh (*brittle*).

Metode Penelitian

Bahan dan alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian meliputi: Tepung Sorgum, Kitosan, Gliserol, Aquades, Asam Asetat, Serbuk Batang Ubi Kayu, gelas Ukur, *Water Bath*, *Drying Oven*, *Digital Balance*, Cetakan Teflon, Cawan Petri, *Zipbag Lock*, Pipet, Stopwatch, Pengaduk.

Prosedur Kerja

Pembuatan Tepung Sorgum

Sorgum dikupas dari kulitnya, dipisahkan bijinya. Lalu rendam sorgum dalam air agar cukup lunak, kemudian tiriskan. Kemudian giling dengan cara ditumbuk. Hasil gilingan (sorgum) diayak, keringkan kembali. Tepung sorgum yang lolos dari ayakan dikemas dalam kantong plastik.

Pembuatan Serbuk Batang Ubi Kayu

Batang ubi kayu dijemur, lalu kupas kulitnya. Potong batang ubi kayu hingga berukuran kecil-kecil. Kemudian panaskan dengan oven. Lalu giling dengan cara ditumbuk. Hasil gilingan diayak dan dikeringkan kembali. Serbuk batang ubi kayu yang lolos dari ayakan dikemas dalam kantong plastik.

Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik mengikuti metode Weiping Ban (2005) .Mula-mula ditimbang sejumlah massa pati dan kitosan yang diinginkan. Lalu dibuat larutan pati serta larutan kitosan melalui penambahan aquades sesuai dengan jumlah volume yang telah dihitung. Lalu diukur volume larutan gliserol. Setelah itu dihidupkan *water bath* dan diatur temperatur yang akan digunakan. Gelas ukur 500 ml berisi larutan pati dan kitosan diletakkan pada *water bath* kemudian diaduk dengan pengaduk jenis turbin. Pengadukan dilakukan selama 25 menit. Setelah itu ditambahkan gliserol pada campuran tersebut dan diaduk lagi sampai homogen dengan kecepatan yang sama 50 rpm. Selanjutnya ditambahkan serbuk batang ubi kayu sebagai pengisi. Setelah homogen proses dihentikan. Lalu larutan didinginkan sampai suhu kamar dan selanjutnya dicetak. Larutan dituangkan sebanyak 50 ml ke dalam cetakan, kemudian dikeringkan di dalam oven pada $T = 60^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Setelah kering, plastik dilepaskan dari cetakannya dan dimasukkan ke dalam desikator untuk menjaga kestabilannya. Plastik siap untuk dianalisis.

Hasil dan Pembahasan

Gelatinisasi merupakan fenomena dimana terjadi pembengkakan (*swelling*) yang luar biasa

sehingga granula pati tidak dapat kembali ke bentuk semula. Kemampuan pati menyerap air disebabkan oleh adanya gugus hidroksil pada molekul dalam jumlah besar. Saat proses gelatinisasi berlangsung, terjadi destrukurisasi yaitu hilangnya bentuk granula dan kemudian polimer pati yang tidak berbentuk granula ini selanjutnya akan bercampur dengan senyawa lainnya yaitu gliserol (*plasticizer*) dan kitosan.

Penelitian ini diawali dengan pembuatan bioplastik dengan berbagai formulasi pati-kitosan dan variasi gliserol. Formulasi pati-kitosan yang dilakukan adalah 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, rasio (g/g). Konsentrasi gliserol yang divariasikan adalah 20%, 25%, 30% dan 40% dan mencari temperatur gelatinisasi pati sorgum-kitosan pada rentang 70-95°C.

Bahan bioplastik dari campuran pati dan kitosan dengan gliserol sebagai *plasticizer*-nya dapat dimanfaatkan sebagai plastik kemasan, komponen alat rumah sakit, komponen alat mobil, tali plastik ataupun bahan pembuat karung jika memenuhi/mendekati standar sifat mekanik tertentu dari polipropilena. Plastik dari bahan pati harus memiliki kesamaan sifat mekanik agar dapat menggantikan plastik sintetis (polipropilena). Sifat mekanik dari polipropilena yang dibandingkan dengan plastik berbahan pati dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Perbandingan sifat mekanik PP dengan plastik berbahan pati

| No | Sifat plastik | PP | Bioplastik * | Bioplastik ** |
|----|--------------------------------|---------|--------------|---------------|
| 1 | <i>Tensile strength</i> (MPa) | 33.0-95 | 85.75 | 91,875 |
| 2 | <i>Elongation at break</i> (%) | 12 | 7.25 | 6,765 |
| 3 | Modulus Young (MPa) | 1344.5 | 337.93 | 1368,0742 |

Sumber : www.boedeker.com

* tanpa pengisi

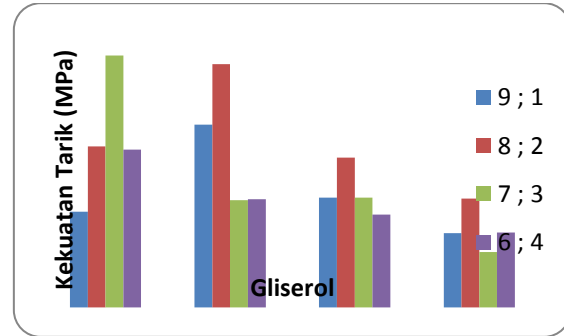
** dengan pengisi

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa bahan bioplastik campuran pati-kitosan memiliki nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), persen perpanjangan (*elongation at break*) berbeda jauh dengan nilai standar polipropilena sebelum penambahan pengisi. Tetapi nilai Modulus Young mendekati nilai standar polipropilena setelah penambahan pengisi.

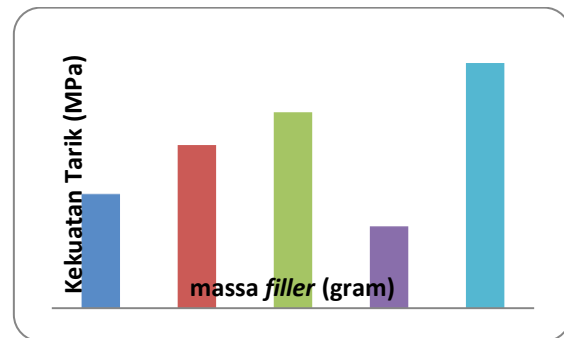
Pengaruh Penambahan pengisi serbuk batang ubi kayu terhadap Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) Bioplastik

Gambar 2 menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 54.9192 Mpa pada formulasi pati-

kitosan 7:3 dengan konsentrasi gliserol 20%. Sedangkan kekuatan tarik pada formulasi pati-kitosan 8:2 dengan konsentrasi gliserol 30% adalah 32.6667 MPa. Setelah ditambahkan *filler* ternyata kekuatan tarik tertinggi bioplastik yaitu pada massa *filler* 2,5 gram sebesar 91,875 MPa



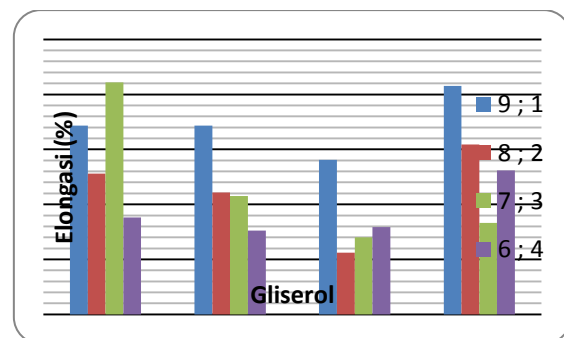
Gambar 2. Nilai Tensile Strength pada berbagai variasi formulasi pati-kitosan dan gliserol



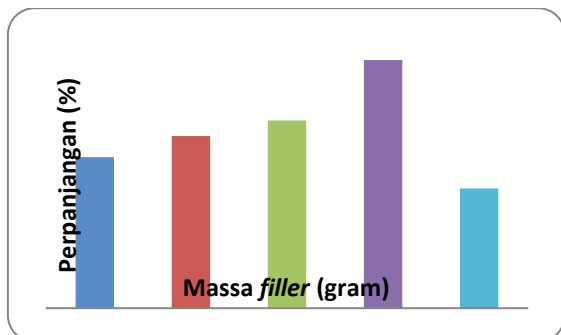
Gambar 3. Pengaruh penambahan *filler* terhadap Tensile Strength

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa penambahan massa pengisi sebanding dengan kenaikan kekuatan tarik bioplastik yang dihasilkan, namun kekuatan tarik turun pada penambahan massa pengisi 2 gram.

Pengaruh Penambahan *Filler* terhadap Persen Perpanjangan



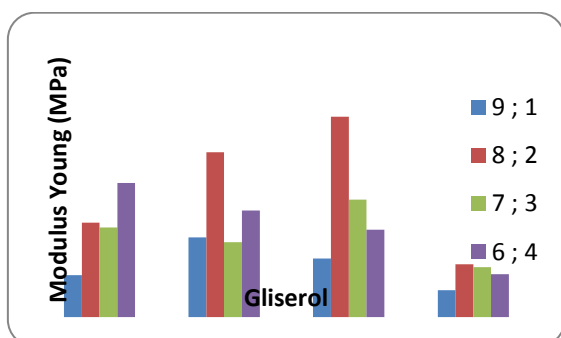
Gambar 4. Nilai Persen Perpanjangan pada berbagai variasi formulasi pati-kitosan dan gliserol



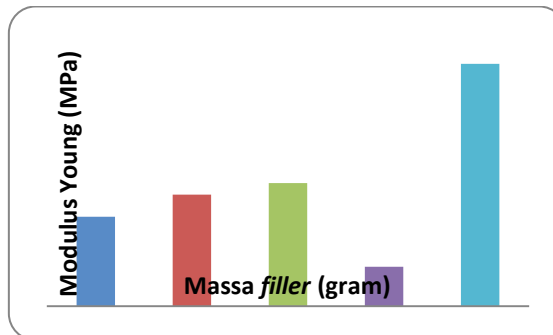
Gambar 5. Pengaruh penambahan filler terhadap Persen Perpanjangan

Pada uji sifat mekanik, selain *tensile strength* (kekuatan tarik) terdapat juga persen perpanjangan (*elongation at break*) dan *Modulus Young*. Perpanjangan merupakan cara dalam pengukuran keuletan suatu bahan yang diperoleh dari uji tarik. Dari gambar 4, nilai perpanjangan tertinggi sebesar 21,09% pada formulasi pati-kitosan 7:3 dengan konsentrasi gliserol 20%. Sedangkan nilai perpanjangan terendah pada formulasi 8:2 dengan konsentrasi 30% sebesar 5,61%. Sedangkan dari gambar 5, nilai perpanjangan pada formulasi pati-kitosan 8:2 dan konsentrasi gliserol 30% meningkat dengan penambahan massa filler. Nilai perpanjangan tertinggi yaitu 14,03% pada massa filler 2 gram. Sedangkan nilai persen perpanjangan terendah yaitu sebesar 6,765% pada massa filler 2,5 gram.

a. Pengaruh Penambahan Filler terhadap Modulus Young Bioplastik



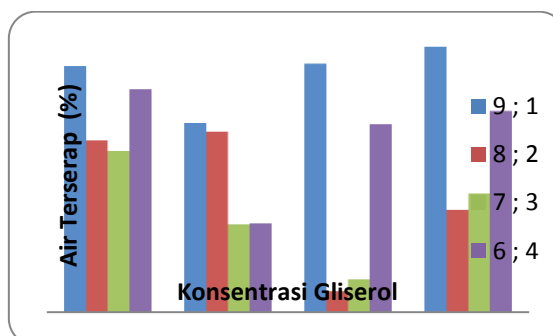
Gambar 6. Nilai Modulus Young pada berbagai variasi formulasi pati-kitosan dan gliserol



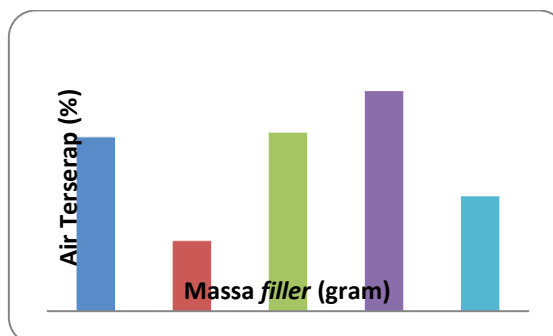
Gambar 7. Pengaruh penambahan filler terhadap Modulus Young

Modulus Young diperoleh dari perbandingan antara kekuatan tarik (*tensile strength*) terhadap persen perpanjangan (*elongation at break*). Modulus Young ini juga bisa dikatakan sebagai ukuran kekakuan suatu bahan. Dari Gambar 6, nilai modulus young tertinggi terdapat pada formulasi pati-kitosan 8:2 dengan konsentrasi gliserol 30% sebesar 582.6831 Mpa. Pada kondisi ini pula, dengan penambahan filler nilai Modulus Young meningkat sebanding dengan penambahan filler. Dari gambar 7, Modulus Young tertinggi terdapat pada penambahan filler 2,5 gram dengan nilai 1368,0742 MPa. Kondisi ini meningkat 2x lebih besar dibandingkan pembuatan bioplastik tanpa filler. Hal ini menunjukkan penambahan massa filler meningkatkan nilai Modulus Young suatu bioplastik.

1. Ketahanan Bioplastik terhadap Air



Gambar 8. Nilai persen air terserap pada berbagai variasi formulasi pati-kitosan dan gliserol



Gambar 9. Pengaruh penambahan filler terhadap persen air terserap

Dari gambar 8, dengan berbagai variasi massa pati – kitosan dan gliserol tanpa penambahan *filler* di dapat nilai ketahanan air terbaik sebesar 6,27% pada formulasi pati-kitosan 8:2 dengan konsentrasi gliserol 30%. Sedangkan dari gambar 9, bioplastik yang dihasilkan memiliki ketahanan air terbaik sebesar 6,57% pada penambahan *filler* 1 gram. Jika dibandingkan, penambahan *filler* ternyata tidak mempengaruhi nilai ketahanan air.

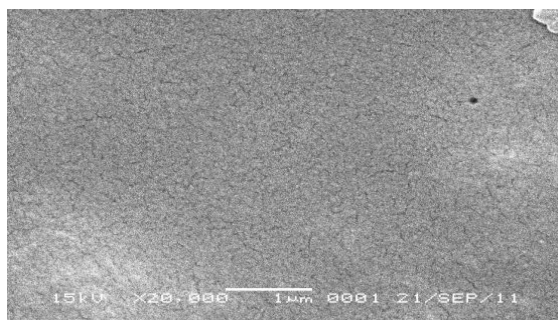
Pada penelitian ini kitosan sebagai biopolimer telah memberikan sifat ketahanan air yang baik pada bahan bioplastik. Dikarenakan sifat kitosan yang hidrofobik (tidak suka air). Selain itu, kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi, dan bersifat polielektrolitik. Karakteristik lain kitosan adalah dapat dengan mudah berinteraksi dengan zat-zat organik lain, seperti protein dan lemak. Karena itu, kitosan relatif lebih banyak digunakan pada berbagai bidang industri terapan dan industri farmasi dan kesehatan (Research Center, 2007). Sifat-sifat yang dimiliki kitosan inilah yang menyebabkan ketahanan terhadap air bahan bioplastik menjadi baik.

3. Analisis Gugus Fungsi Bioplastik

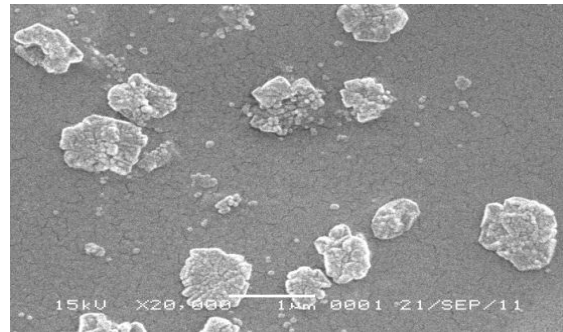
Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) digunakan untuk mengidentifikasi bahan kimia yang terkandung dalam suatu bahan polimer. Dari hasil ini terlihat bahwa bahan bioplastik yang dihasilkan merupakan proses *blending* secara fisika dikarenakan tidak ditemukannya gugus fungsi yang baru,

4. Struktur Permukaan Bioplastik

Dari gambar 10, pada sampel penambahan *filler* 1 gram dengan perbesaran 20000x, terlihat permukaan yang rapi meskipun terdapat retakan – retakan kecil. Sedangkan pada gambar 11, pada sampel penambahan *filler* 1 gram dengan perbesaran 20000x, terlihat bercak – bercak yang sangat besar. Retakan dan bercak - bercak ini mungkin merupakan dampak dari tidak tahannya bioplastik yang di uji terhadap panas tinggi yang dikenai oleh cahaya elektron pada alat uji. Pada temperatur tinggi yang abnormal, sampel akan mengalami pengerutan, twist, melt bahkan bisa sampai terbakar.

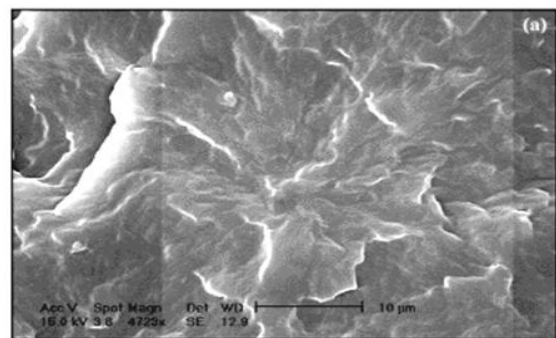


Gambar 10. Penampang atas film bioplastik, dengan perbesaran 20000x



Gambar 11. Penampang bawah film bioplastik, dengan perbesaran 20000x

Pada gambar 10, didapatkan hasil struktur molekul bioplastik yang terlihat rapat (*dense*). Semakin rapatnya struktur molekul bioplastik, semakin baik persen perpanjangannya, karena semakin sedikit bioplastik tersebut menyerap air.



Gambar 12. Penampang atas film plastik polipropilen, dengan perbesaran 4723x

Hasil SEM polipropilen ditunjukkan sebagai pembandingan. Dimana dapat dilihat morfologi dari propilen yang lebih rapat (*dense*) jika dibandingkan dengan morfologi bioplastik pati-selulosa. Keseragaman dalam film plastik ini sangat baik, sehingga tidak ada retakan yang terjadi.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah :

1. Formulasi campuran pati sorgum-kitosan 8 : 2 dengan *plasticizer gliserol* pada konsentrasi 30 % dan temperatur gelatinisasi 95 °C dengan nilai Modulus Young tertinggi 1368,0742 MPa pada variasi serbuk batang ubi kayu 2,5 gram dan nilai ketahanan air terbaik sebesar 6,57 % pada variasi serbuk batang ubi kayu 1 gram.
2. Dengan adanya penambahan serbuk batang ubi kayu, bioplastik yang dihasilkan dapat meningkatkan sifat mekanik. Hal ini dapat terlihat dengan adanya nilai Modulus Young bioplastik yang mendekati nilai

Modulus Young Polipropilena (plastik komersial).

DAFTAR PUSTAKA

1. Averous, Luc. 2002, *Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch : A Review*, Journal of Macromolecular Science, United Kingdom.
2. Li Yang.1997. *Physicochemical Properties of Biodegradable/Edible Films Made With Gellan Gum*. University of Nova Scotia. Canada.
3. Krogars, Karin. 2003, *Aqueous-Based Amylose-Rich Maize Starch Solution and Dispersion: A study on Free Films and Coatings*, Faculty of Science of the University of Helsinki, Finlandia.
4. Rahmatunnisa. 2009. *Sifat Mekanikal Komposit Poliester Tak Jenuh*. MIPA. Malaysia.
5. Xanthos, M. 2005. *Fungtional Filler for Plastics*. Wiley & Son. New York.
6. www.wikipedia.org/wiki/gliserol
7. Weiping Ban *et al.* 2005, *Improving The Physical and Chemical Functionally of Starch – Derived Films With Biopolymers*, Journal of Applied Polymer Science 2006 Vol. 100, United States.
8. Darni, dkk. 2011. *Penentuan Kondisi Optimum Konsentrasi Plasticizer pada sintesa plastik Biodegradable Berbahan dasar Pati Sorgum, Seminar Nasional Sains dan Teknologi IV, 29-30 November 2011, Universitas Lampung, Bandar Lampung.*
9. www.yahoo.com, Research Center for Biothechnology, 2007

Produktivitas Etanol dari Molases dengan Proses Fermentasi pada Kondisi Penambahan Aliran Udara atau Gas Nitrogen

Aji Alriandi

Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lampung University Lampung
Jl Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung.
E-mail : ajicalriandi@yahoo.com

ABSTRAK - Proses fermentasi sangat bergantung pada peran mikroorganisme yang digunakan. Mikroorganisme, seperti makhluk hidup lainnya, mempunyai kemampuan bertahan hidup pada keadaan-keadaan tertentu. Kontak antara mikroorganisme dan udara yang dialirkan juga mempengaruhi perkembangan hidup mikroorganisme itu sendiri.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan aliran udara atau gas nitrogen pada fermentasi etanol dari molases. Dalam penelitian ini, sel basah *Zymomonas mobilis* A3 ditambahkan kedalam media fermentasi steril lalu dimasukkan ke dalam fermentor dengan menggunakan temperatur 30°C dan variasi aliran udara, gas nitrogen dan tanpa aliran. Kemudian aliran optimum di variasikan pada temperatur 35°C dan temperatur 25°C.

Pengambilan sampling dilakukan pada jam ke 8, 16,24, 32,40 dan 48 sebanyak 55 ml. Supernatan hasil fermentasi diambil 54 mL untuk analisis kadar etanol dan 1 mL untuk analisis kadar glukosa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aliran udara pada proses fermentasi akan mengurangi perolehan produktivitas etanol yang didapatkan. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan hasil fermentasi dengan penambahan aliran udara dan fermentasi yang dilakukan tanpa penambahan aliran. Kondisi optimum yang didapatkan penelitian ini adalah pada saat fermentasi dilakukan dengan penambahan gas nitrogen pada suhu 35°C.

Kata kunci : *molasses*, etanol, *Zymomonas mobilis* A3.

PENDAHULUAN

Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan energi terbarukan (*renewable energy*). Energi terbarukan merupakan energi non-fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbarui. Apabila dikelola dengan baik maka sumber daya itu tidak akan habis dan dapat digunakan secara berkelanjutan.

Salah satu jenis energi alternatif yang telah dikembangkan secara komersial adalah energi yang berasal dari biomassa. Energi yang berasal dari biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar salah satunya adalah bioetanol.

Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya bahan baku untuk membuat etanol dapat diperbarui dan ramah lingkungan karena emisi karbondioksida rendah (Jeon, 2007). Pembuatan etanol dapat dilakukan dengan hidrasi etilen dan fermentasi (Kirk, 1951). Proses hidrasi etilen tidak cocok dikembangkan di Indonesia karena cadangan minyak bumi yang semakin sedikit. Sebaliknya, proses fermentasi sangat mungkin untuk dikembangkan di Indonesia. Sementara fermentasi

sendiri adalah proses produksi energi dalam sel dalam keadaan anaerobik (tanpa oksigen).

Pada penelitian ini digunakan *Zymomonas mobilis* sebagai mikroorganisme. Pemilihan bakteri *Zymomonas mobilis* ini dikarenakan serapan gula tinggi, hasil etanol yang tinggi dan toleransi etanol yang lebih tinggi dibandingkan *Saccharomyces cerevisiae* yang sering digunakan saat ini.

1. METODE PENELITIAN

1.1. Alat dan Bahan

Zymomonas mobilis, media biakan murni, media cair untuk starter, media fermentasi, *shaker*, *refraktometer*, *autoclave*, *fermentor*, pompa aerasi. *Chiler*, *freezer*, lemari asam, *laminar air flow*, *water bath*, *centrifuge*, *spektrofotometer* UV-VIS, timbangan, gelas ukur, gelas beaker, pipet volume, tabung reaksi, spatula, corong kaca, erlenmeyer, botol gelap, pipet tetes, labu ukur, batang pengaduk, kertas saring, aluminium foil, gas nitrogen.

1.2. Prosedur Penelitian

Tahap pendahuluan ini dilakukan dalam lima kegiatan kerja : (1) tahap penyediaan biakan murni, (2) tahap pembuatan media cair untuk starter. (3) tahap pembuatan starter, (4) tahap pembuatan media

fermentasi, (5) tahap pengambilan bakteri dari starter.

Biakan *zymomonas mobilis* diperbanyak dengan cara natrium agar ditimbang sebanyak 2,8 gr dan ditambahkan aquades 100 ml kedalam erlenmeyer 250 ml. Dipanaskan hingga larut dan diukur pH nya. Kemudian disterilkan di *autoclave*. Dituangkan kedalam cawan petri dan didinginkan hingga memadat.

Untuk mendapatkan media cair untuk starter, ditimbang komposisi yang berupa 50 gr sukrosa, 10 gr *yeast extract*, 1 gr KH_2PO_4 , 1 gr, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan 0,5 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. dimasukkan kedalam botol gelap dan ditambahkan aquades hingga 1 liter. Kemudian disterilkan di *autoclave*.

Pembuatan starter dilakukan dengan cara menginokulasi 1 ose *zymomonas mobilis* pada 10 ml media cair steril lalu di shake selama 18 jam dengan kecepatan 120 rpm. 10 ml starter *zymomonas mobilis* diinokulasi pada 90 media cair steril lalu di shake selama 18 jam dan kecepatan 120 rpm. 100 ml starter *zymomonas mobilis* diinokulasi pada 900 media cair steril lalu di shake selama 18 jam dan kecepatan 120 rpm.

Pembuatan media fermentasi dilakukan dengan menimbang 100 ml molasses dan ditambahkan 900 ml aquades lalu dipanaskan pada suhu 80°C lalu ditambahkan H_2SO_4 , disaring dan diambil filtratnya. Kemudian disterilisasi dengan *autoclave*.

80 ml media starter steril diambil untuk mengambil sel basah *zymomonas mobilis* dengan mensentrifugasi pada kecepatan 1600 rpm selama 30 menit.

Tahap fermentasi dilakukan dengan variasi aliran dan variasi temperatur. Sel basah *zymomonas mobilis* ditambahkan dengan 400 ml media fermentasi steril. Lalu dimasukkan kedalam fermentor. Dilakukan sampling setiap 8 jam sekali. Sampel disentrifuge pada kecepatan 1600 rpm selama 30 menit untuk selanjutnya dilakukan analisis kadar etanol dan kadar glukosa.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil uji sebagai berikut :

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

Temperatur 30 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, Tekanan 1 atm

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,5062 | 250,1 | 73,2 | 2,21 | 22,1 |
| 16 | 0,4793 | 239,7 | 83,6 | 2,74 | 27,4 |
| 24 | 0,4594 | 232,1 | 91,2 | 3,08 | 30,8 |
| 32 | 0,4364 | 223,2 | 100,1 | 3,94 | 39,4 |
| 40 | 0,3837 | 203,0 | 120,3 | 4,67 | 46,7 |
| 48 | 0,3346 | 184,1 | 139,2 | 5,89 | 58,9 |

Temperatur 30 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt udara

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,7278 | 67,1 | 256,2 | 1,894 | 19,265 |
| 16 | 0,6252 | 59,2 | 264,1 | 1,894 | 19,277 |
| 24 | 0,5249 | 51,5 | 271,8 | 1,894 | 19,329 |
| 32 | 0,5128 | 50,5 | 272,8 | 1,894 | 19,673 |
| 40 | 0,4894 | 48,7 | 274,6 | 2,157 | 22,23 |
| 48 | 0,3737 | 39,8 | 283,5 | 2,42 | 25,16 |

Temperatur 35 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt udara

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,4880 | 48,6 | 274,7 | 1,6315 | 16,538 |
| 16 | 0,4724 | 47,4 | 275,9 | 1,894 | 19,264 |
| 24 | 0,3959 | 41,5 | 281,8 | 1,894 | 19,376 |
| 32 | 0,3867 | 40,8 | 282,5 | 1,894 | 19,628 |
| 40 | 0,2496 | 30,3 | 293,0 | 2,421 | 25,069 |
| 48 | 0,2330 | 29,0 | 294,3 | 4,263 | 43,891 |

Temperatur 25 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt udara

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,3771 | 40,1 | 283,2 | 1,631 | 16,615 |
| 16 | 0,3693 | 39,5 | 283,8 | 1,631 | 16,799 |
| 24 | 0,3284 | 36,3 | 287,0 | 1,763 | 17,99 |
| 32 | 0,2776 | 32,4 | 290,9 | 1,631 | 16,828 |
| 40 | 0,2339 | 29,1 | 294,2 | 1,368 | 14,635 |
| 48 | 0,1999 | 26,5 | 296,8 | 1,894 | 20,017 |

Temperatur 35 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt nitrogen

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,8905 | 79,6 | 243,7 | 1,894 | 19,465 |
| 16 | 0,8876 | 79,4 | 243,9 | 2,421 | 24,710 |
| 24 | 0,8797 | 78,7 | 244,6 | 2,947 | 29,921 |
| 32 | 0,7706 | 70,4 | 252,9 | 2,947 | 30,055 |
| 40 | 0,7396 | 68,0 | 255,3 | 2,947 | 30,256 |
| 48 | 0,6789 | 63,3 | 260,0 | 4,526 | 46,043 |
| 60 | 0,6427 | 60,5 | 262,8 | 6,368 | 66,139 |

Temperatur 30 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt nitrogen

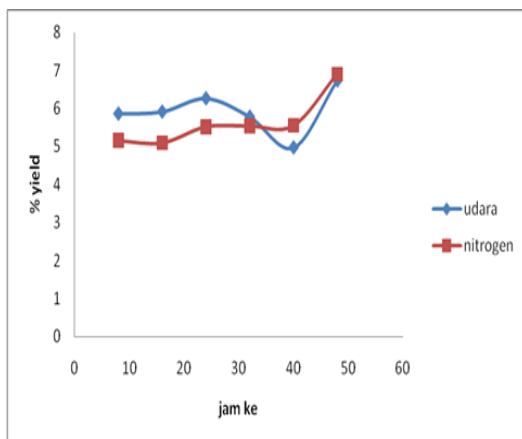
| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,4473 | 45,5 | 277,8 | 1,631 | 16,456 |

| | | | | | |
|----|--------|------|-------|-------|--------|
| 16 | 0,4073 | 42,4 | 280,9 | 1,894 | 19,137 |
| 24 | 0,3940 | 41,4 | 281,9 | 1,894 | 19,096 |
| 32 | 0,3615 | 38,9 | 284,4 | 2,026 | 20,686 |
| 40 | 0,3402 | 37,2 | 286,1 | 2,157 | 22,228 |
| 48 | 0,3174 | 35,5 | 287,8 | 2,157 | 22,453 |
| 60 | 0,2968 | 33,9 | 289,4 | 2,421 | 24,791 |

Temperatur 25 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm, 2,5 L/mnt nitrogen

| jam | absorbansi | Konsentrasi glukosa (g/l) | Glukosa terkonsumsi (g/L) | Etanol (%) | Etanol (g/L) |
|-----|------------|---------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| 0 | 0,6967 | 323,3 | - | - | - |
| 8 | 0,247 | 30,1 | 293,2 | 1,5 | 15,116 |
| 16 | 0,203 | 26,7 | 296,6 | 1,5 | 15,124 |
| 24 | 0,194 | 26,0 | 297,3 | 1,631 | 16,413 |
| 32 | 0,161 | 23,5 | 299,8 | 1,631 | 16,609 |
| 40 | 0,140 | 21,9 | 301,4 | 1,631 | 16,734 |
| 48 | 0,117 | 20,1 | 303,2 | 1,763 | 18,222 |
| 60 | 0,096 | 18,5 | 304,8 | 2,157 | 21,991 |

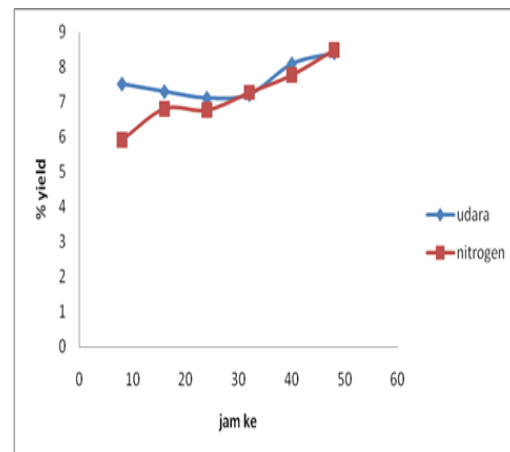
2.1. Pengaruh Penambahan Aliran Udara dan Gas Nitrogen terhadap Yield Etanol pada Temperatur 25°C



Gambar 1. grafik hubungan antara % yield etanol terhadap waktu pada temperatur 25°C

Gambar diatas menunjukkan pengaruh penambahan udara dan gas nitrogen pada temperatur 25°C. Persen yield etanol didapat dari nilai etanol total fermentasi dibagi dengan glukosa yang terkonsumsi dikali 100%. Dari grafik diatas terlihat bahwa sampai jam ke 32 persen yield akibat penambahan aliran udara lebih besar bila dibandingkan dengan fermentasi yang dilakukan dengan penambahan aliran Gas Nitrogen. Tetapi setelah jam ke 32, persen yield etanol dengan penambahan Gas nitrogen lebih besar bila dibandingkan dengan fermentasi yang diberi penambahan aliran udara.

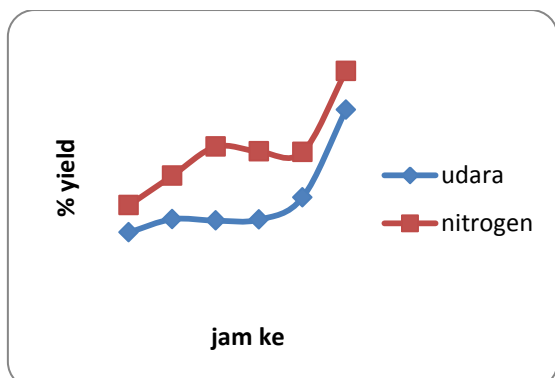
2.2. Pengaruh Penambahan Aliran Udara dan Gas Nitrogen terhadap Yield Etanol pada Temperatur 30°C



Gambar 2 grafik hubungan antara % yield etanol terhadap waktu pada temperatur 30°C

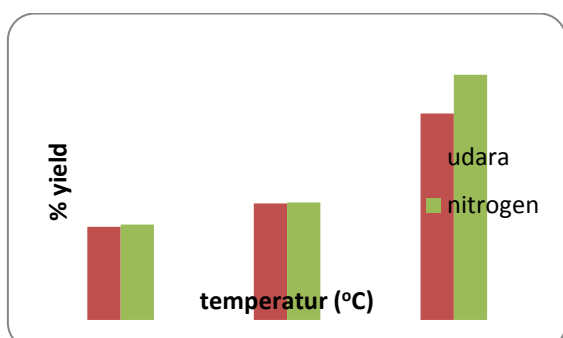
Gambar diatas menunjukkan pengaruh penambahan udara dan gas nitrogen pada temperatur 30°C. Persen yield etanol dengan penambahan aliran Gas Nitrogen terlihat lebih stabil dibandingkan dengan penambahan udara. Pada fermentasi dengan penambahan aliran Gas Nitrogen, penurunan persen yield hanya terjadi pada jam ke 24. Sedangkan pada penambahan aliran udara, penurunan persen yield terjadi pada jam ke 8 hingga jam ke 24. Setelah itu persen yield mengalami kenaikan hingga jam ke 48. Persen yield yang didapat di jam ke 48 pada fermentasi dengan penambahan aliran Gas Nitrogen adalah sebesar 8,48 %. Sedangkan pada penambahan aliran udara sebesar 8,41%.

3.3 Pengaruh Penambahan Aliran Udara dan Gas Nitrogen terhadap Yield Etanol pada Temperatur 35°C



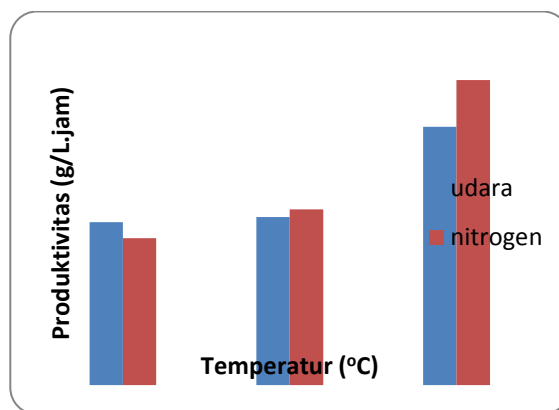
Gambar 3 grafik hubungan antara % yield etanol terhadap waktu pada temperatur 35°C

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa fermentasi dengan penambahan aliran Gas Nitrogen menghasilkan persen yield yang lebih besar daripada fermentasi yang dilakukan dengan penambahan aliran udara. Perbandingan persen yield yang didapat pada semua variasi tempertur dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4 grafik hubungan antara % yield etanol terhadap variasi temperatur

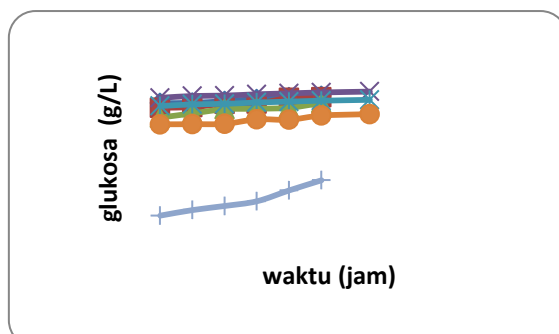
3.4 Hubungan antar Fermentasi dan produktivitas Etanol



Gambar 5. grafik hubungan antara fermentasi terhadap produktivitas etanol

Pada grafik diatas dapat dilihat produktifitas etanol yang dihasilkan. Fermentasi pada suhu 25°C, produktivitas etanol dengan penambahan udara lebih besar daripada fermentasi dengan penambahan aliran gas nitrogen yaitu 0,75 g/L.jam untuk penambahan udara berbanding 0,68 g/L.jam dengan penambahan aliran gas nitrogen. Sedangkan pada suhu 30°C dan 35°C, produktivitas etanol yang lebih besar dihasilkan dari fermentasi yang dilakukan dengan penambahan aliran gas nitrogen. Kondisi optimum bila dilihat dari produktivitas etanol yang didapat adalah pada saat fermentasi dilakukan pada suhu 35°C dengan penambahan aliran gas nitrogen yaitu sebesar 1,42 g/L.jam. hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan produktivitas etanol dari fermentasi tanpa penambahan aliran yang penulis lakukan sebagai data pembanding yaitu sebesar 1,2 g/L.jam.

3.5. Pengaruh Konsentrasi Glukosa Terhadap Perolehan Etanol

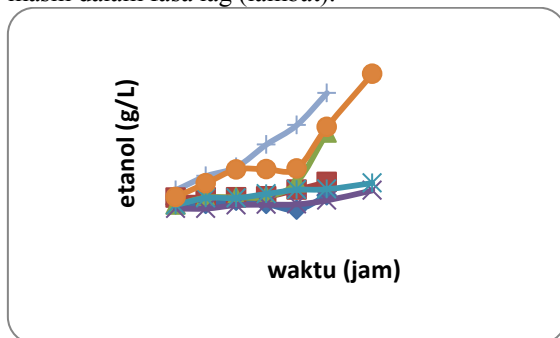


Gambar 6. grafik hubungan antara waktu terhadap konsentrasi glukosa yang terkonsumsi

Pada gambar 6 diatas, secara umum dapat dilihat hubungan antara waktu dan konsentrasi glukosa yang habis terkonsumsi. Semakin lama waktu fermentasi maka glukosa yang akan terkonsumsi akan semakin besar. Waktu fermentasi pertama

sampai keempat adalah 48 jam dan fermentasi kelima sampai ketujuh adalah 60 jam. Selama waktu itu, gula terus digunakan namun tidak sampai habis. Hal ini terjadi pada semua variabel. Ini dikarenakan bahwa bakteri belum sampai selesai menghasilkan etanol dan masih dalam fasa eksponensial dan belum sampai fasa kematian.

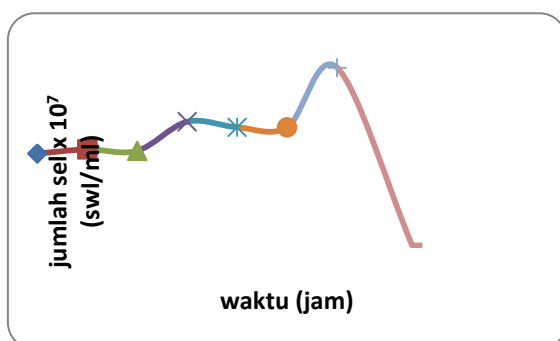
Penurunan konsentrasi jelas terlihat pada waktu 40 jam sampai dengan 48 jam. Hal ini terjadi karena bakteri memasuki fasa eksponensial dimana pada fasa ini sel membelah diri menjadi dua kali lipat dan memerlukan gula yang sangat banyak. Pada waktu 8 sampai dengan 40 jam dilihat bahwa penurunan etanol tidak terlalu terlihat ini dikarenakan bakteri masih dalam fasa lag (lambat).



Gambar 7. grafik hubungan antara konsentrasi etanol terhadap waktu

Pada gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi etanol terus mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri bekerja mengkonversi glukosa dan menghasilkan etanol. Dapat dilihat hasil etanol pada tiap-tiap variabel peningkatannya sama seperti penurunan konsentrasi gula dimana pada gambar diatas konsentrasi etanol tidak mengalami peningkatan yang signifikan pada jam ke 8 sampai dengan 40 jam. Pada saat waktu ke 40 sampai dengan 48 jam konsentrasi etanol yang di hasilkan naik secara drastis sama seperti pada grafik konsentrasi gula dimana pada saat ini konsentrasi gula mengalami penurunan yang sangat drastis.

3.6. Konsentrasi sel Mikroorganisme



Gambar 8. grafik hubungan jumlah sel terhadap waktu Fermentasi

Secara umum dari grafik 8, jumlah mikroorganisme meningkat hingga jam ke-48, kemudian menurun hingga akhir proses, dimana jumlah sel akhir berada pada $2,15 \times 10^{-5}$ sel/ml.

Secara keseluruhan percobaan, *fase lag* berlangsung pada 24 jam pertama, *fase lag* yang lama menunjukkan bahwa mikroba *Zymomonas mobilis* tidak dapat langsung beradaptasi dengan lingkungan baru yaitu media fermentasi berupa molasses.

Fase lag adalah fase penyesuaian mikroorganisme terhadap lingkungan baru. *fase lag* terjadi setelah inokulum dimasukkan dalam media fermentasi, dalam fase ini massa sel dapat berubah tanpa mengubah jumlah sel, setelah selesai dengan perubahan-perubahan tersebut, sel beranjak ke fase pertumbuhan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sumber karbon, nutrisi, ketersediaan air, nilai pH, suhu, dan adanya oksigen (Pudjiastuti, 1999).

Fase berikutnya adalah *fase logaritmik* pada 48 jam kedua dimana sel tumbuh dengan cepat, *Fase logaritmik* adalah fase dimana sel sudah mampu beradaptasi dengan lingkungan baru, hal ini ditunjukkan dari jumlah sel yang mulai meningkat drastis, selain melakukan proses metabolisme sel juga membentuk produk berupa etanol dimana pembentukan etanol pada setiap perlakuan terjadi pada jam ke-24 hingga proses berakhir di jam ke-96.

Fase berikutnya adalah *fase stasioner*, dimana jumlah sel mulai stabil. *Fase stasioner* mengindikasikan bahwa saat itu substrat sudah banyak berkurang, sehingga laju pertumbuhan lebih kecil dari laju kematian sel. Laju kematian sel yang besar dapat disebabkan oleh adanya akumulasi produk etanol yang banyak dan stabil sehingga menghambat pertumbuhan sel (Ullman's, 2000) dan kemudian fase kematian akibat berkurangnya substrat sebagai sumber makanan dan juga terbentuknya produk berupa etanol yang merupakan produk inhibisi yang dapat menghambat pertumbuhan *Zymomonas mobilis*.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Kondisi proses yang memberikan hasil yang maksimal adalah pada saat fermentasi dilakukan dengan penambahan aliran gas nitrogen pada temperature 35°C .
2. Produktivitas paling tinggi yang didapatkan sebesar $1,42 \text{ g/L.jam}$ pada suhu 35°C dan kondisi penambahan aliran Gas Nitrogen.

3. Penambahan aliran udara pada proses fermentasi akan mengurangi produktivitas etanol yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alakangas, E., Valtanen, J., Levlin, J. E., 2006, *CEN Technical Spesification For Solid Biofuels – Fuel Spesification And Classes*, in Elsevier Science Ltd., Biomass And Bioenergy 30, pp 908-914, Finlandia.
- Babu, N. Y. D., 2001, *Biomass Densification – A solid (Fuel) Solutian*, TERI Newswire 7 (23), India.
- Cattaneo, Diego, 2003, *Briquetting: A Forgotten Opportunity*, Wood Energy No. 2, Fuel Briquettes, pp 40-42, Italy.
- Charoenvai, S., Khedari, J., Hirunlabh, J., Daguene, M., Quenard, D., 2005, *Impact Of Rice Husk Ash On The Performance Of Durian Fibre – Based Construction Material*, France.
- ENVIS, 2006, *Environment Related Activities With Special Reference To Solid Waste Management*, Environmental Information System Vol. 2 No. 1, pp 1-13, India.
- Faborode, M. D., 1990, *Analysis Of Extrusion Compaction Of Fibrous Agricultural Residues For Fuel Application*, in Elsevier Science Ltd., Biomass 21, pp 115-128, Nigeria.
- Felfi, F. F., Luengo, C. A., Sudrez, J. A., and Beaton, P. A., 2005, *Wood Briquette Torrefaction*, Energy For Sustainable Development Vol. IX No. 13, pp 19-22, Brazil.
- Granada, E., Gonzales, L. M. L., Miguez, J. L., Moran, J., 2002, *Fuel Lignocellulosic Briquettes, Die Design, And Product Study*, in Elsevier Science Ltd., Renewable Energy 27, pp 561-573, Spain.
- Hindarso, H., Maukar, A. L., *Proses Konversi Biomassa Menjadi Bioarang Sebagai Bahan Bakar Alternatif* (Abstrak)
- Husain, Z., Zainac, Z., Abdullah, Z., 2002, *Briquetting Of Palm Fibre And Shell From The Processing Of Palm Nuts To Palm Oil*, in Elsevier Science Ltd., Biomass And Bioenergy 22, pp 505-509, Malaysia.
- Jamradloedluk, J., Wiriyaumpaiwong, S., 2007, *Production And Characterization Of Rice Husk Based Charcoal Briquettes*, Engineering Journal Vol. 34 No. 4, pp 391-398, Thailand.
- Mani, S., Tabil, L. G., Sokhansaj, S., 2006, *Spesific Energy Requirement For Compacting Corn Stover*, in Elsevier Science Ltd., Bioresource Technology 97, pp 1420-1426, Canada.
- Mitic, D., Mihajlovic, E., And Stojiljkovic, M., 2006, *Development And Design Of Machine And Technologies For Briquette And Pellet Manufacturing By Dry And Wet Process*, Scientific paper, suppl. 4, pp 131-141, Serbia.
- Ndiema, C. K. W., Manga, P. N., Ruttoh, C. R., 2002, *Influence Of Die Pressure On Relaxation Characteristic Of Briquetted Biomass*, in Elsevier Science Ltd., Energy Conversion And Management 43, pp 2157-2161, Kenya.
- Pari, Gustan, 2002, *Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu*, Makalah Falsafah Sains (PPs 702) Program Pasca Sarjana/S3, Institut Pertanian Bogor.
- Paulrud, Susan, 2004, *Upgraded Biofuels – Effect Of Quality On Processing, Handling, Characteristic, Combustion, And Ash Melting*, Doctorial Thesis Swedish University Of Agricultral Science, pp 15-16, Swedish.
- Setiadi, 2006, *Bertanam Durian*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Singh, D., Kashyap, M. M., 1985, *Mechanical And Combustion Characteristic Of Paddy Husk Briquettes*, Agricultural Wastes 13, pp.189-196, India.
- Singh, R. N., 2004, *Equilibrium Moisture Content Of Biomass Briquettes*, in Elsevier Science Ltd., Biomass And Bioenergy 26, pp 251-253, India.
- Stanley, Richard, 2003, *Briquetting: An Answer To Desertification, Healt Problems, Unemployment, and Reforestation In Developing Communities* (A Pre-Conference Workshop), in Sustainable Resource, University Of Colorado. United States.

Studi Aplikasi *Bio-dryer* untuk Meningkatkan Produktivitas, Kualitas dan Pendapatan Petani Onggok

Indra Mamad Gandidi, M. Dyan Susila E.S., Rahmat Cahaya Putra
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro, No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung (36145)
Email: indragandidi@yahoo.co.id

Abstract

Onggok is a residue from processing cassava into tapioca flour and it used for animal feed, mosquito coil, and sauces. The best price of onggok is around Rp. 1800/kg for white color specifications, 12% maximum moisture content and it is free from foreign material such as sand or gravel. In fact, most of farmers using traditional drying and it does not produce onggok with low quality, low capacity, and long time necessary. Drying capacity obtained in these conditions is 6-8 Tons / month. Most of onggok farmer in Lampung province do not use a dryer to reduce moisture content of onggok from 60-70% to 10-12% due to large operating costs and the dryers are expensive, so they turn to drying in the field. This onggok resulted are only sold at a price Rp.650-/kg and impact to low welfare of onggok farmers. Bio-dryer is a combination between rotary dryer and gasifier biomass with high dryer capacity and economic. Optimum performance of bio-dryer are at: moisture content of onggok feed is 30-40%, gasification airflow 0.011 kg / s, biodryer rotation 20 rpm, and drying mass are 10-12 kg in single process. The maximum reduction of moisture which is about 20% and drying capacity gained from this condition is 480 kg /day or 12 Tons per month. Quality of dry onggok produced under these conditions approached onggok best quality with the selling price reached Rp.1400–Rp.1600/kg.

Keywords: *cassava residue (onggok), drying quality, dry onggok price, bio-dryer*

Onggok adalah residu atau ampas dari pembuatan tepung tapioka singkong (*Manihot Utilissima*). Satu ton singkong dapat menghasilkan 250 kg tepung tapioka dan 114 kg onggok. Berdasarkan data BPS, provinsi Lampung memiliki total produksi singkong sebanyak 6.394.906 pertahun, dengan total produksi onggok sebanyak 729.019,3 ton/tahun [BPS,2008]. Provinsi Lampung memiliki potensi yang sangat besar sebagai penghasil onggok di Indonesia. Berdasarkan data dari Dinas Pertanian Lampung Timur terdapat sekitar 31 Perusahaan pengolahan tapioka dengan total kapasitas produksi 56.928 ton/thn dan total produksi onggok basah sebanyak 22.771 Ton/thn [Direktorat kredit, BPR dan UMKM, 2004]. Onggok biasanya diolah menjadi pakan ternak, bahan baku pembuatan obat nyamuk bakar, pembuatan saus, dan campuran kerupuk [Supratman, 2009]. Untuk dapat dijual ke industri tersebut, onggok harus memiliki kriteria baik yaitu bewarna putih bersih dengan kadar air 8% - 10%. Harga beli onggok dengan kriteria tersebut mencapai Rp.1.800,-/kg. Onggok juga diekspor ke Negara Jepang, Korea dan Negara lainnya. [Tarmudji, 2004 dan Usaha Rakyat, 2011].

Hasil dari survey ke lapangan ditemukan, usaha pengeringan onggok banyak ditemukan di Kabupaten Tulang Bawang dan dijalankan oleh para petani kecil dan UKM. Para petani mendapatkan onggok tersebut secara cuma-cuma ataupun membelinya dengan harga Rp.100 - 300,-/kg dalam

kondisi basah (kadar air 60% - 70%) dari industri pembua-tan tapioka. Onggok yang diturunkan kadar airnya atau dikeringkan, dijual para petani kepada pengumpul dengan harga Rp.650,-/kg hingga Rp.750,-/kg dengan kadar air masih antara 15% - 18% dan selanjutnya pengumpul menjualnya dengan harga Rp. 900 - 1000/kg dengan kadar air 12% - 14%.

Petani atau UKM mampu mengeringkan onggok dengan teknik penjemuran yang didapat dari industri rata-rata 1,5 – 2 ton/minggu dengan mendapatkan keuntungan bersih sekitar Rp.100 - 150/ kg setelah dikeluarkan ongkos pekerja dan sewa lahan. Jadi, total pendapatan petani per bulan sekitar Rp.600.000 – Rp.800.000.

Problema yang dihadapi petani onggok dapat diselesaikan dengan cara penggunaan teknologi pengering untuk menurunkan kadar air onggok sehingga harga jual onggok bisa ditingkatkan sebesar Rp 800 - 900/kg atau sekitar 44.5% - 50% dan pendapatan petani onggok meningkat sekitar Rp. 1.425.000 – 1.725.000/minggu. Ada banyak teknologi pengering yang dapat digunakan seperti *solar bed dryer*, *tunnel dryer*, *rotary dryer*, dan lain-lain [Headly, 1997 dan Soteris, 2004].

Penggunaan *solar bed dryer* akan menghasilkan onggok yang bersih, bebas dari pasir dan bewarna putih. Akan tetapi, penggunaan *solar bed dryer* tidak bisa menghasilkan kapasitas pengeringan yang besar dan sangat bergantung pada matahari. Jika cuaca

tidak bersahabat, proses pengeringan dengan *solar bed dryer* tidak bisa dilakukan. Penggunaan *tunnel dryer* dan *rotary dryer* dapat menghasilkan kapasitas ongkok kering yang besar dan tidak bergantung pada matahari. Dimana sumber panas yang digunakan berasal dari hasil pembakaran gas atau batu bara. Bagaimanapun, penggunaan teknologi *tunnel dryer* dan *rotary dryer* membutuhkan ongkos yang tinggi dalam beroperasi disebabkan penggunaan gas atau batu bara untuk pemanasan. Hal ini tentu akan memberikan efek terhadap harga jual ongkok. Lebih lanjut, penggunaan *tunnel dryer* dan *rotary dryer* menyisakan produk ongkok yang berbau asap dan cenderung berubah warna setelah pengeringan. Pengadaan teknologi ini juga sangat sulit dilakukan karena mempunyai harga dan biaya perawatan yang sangat tinggi.

Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah terobosan teknologi untuk meningkatkan kapasitas dan kualitas ongkok kering agar dapat membantu para petani ongkok. Dalam kegiatan PKM ini akan dilakukan pembuatan teknologi pengering ongkok melalui penerapan teknik gasifikasi biomassa dan *rotary dryer* yang dimodifikasi (*biodryer*). Interkoneksi antara *gasifier* biomassa – *rotary dryer* modifikasi akan didapat teknologi pengeringan yang relatif murah dan diprediksi dapat menghasilkan kualitas ongkok yang bersih, putih, dan kadar air yang rendah dengan kapasitas produksi yang tinggi.

TinjauanPusataka

Jumlah ongkok yang dihasilkan dari proses pembuatan tapioka berkisar 5-10% dari bobot bahan bakunya dengan kadar air 50% - 60%. Ongkok (ampas) tersebut termasuk limbah organik yang masih banyak mengandung karbohidrat, protein dan gula. Selain itu juga masih mengandung senyawa-senyawa gula seperti sukrosa, glukosa, fruktosa, dekstran, galaktosa dan asam nitrat. Sehingga Ongkok masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku campuran kerupuk, saus, dan bahan alternatif fermentasi asam sitrat. Daerah penghasil ongkok terbesar salah satunya adalah provinsi Lampung [5,6].



Gambar 1. Ongkok singkong basah dan yang dikeringkan

Sebelum ongkok dijadikan komoditi untuk dikomersilkan, ongkok terlebih dahulu dikeringkan

yang ditujukan untuk mengeluarkan kadar air (*moisture*) dari dalam ongkok. Sesuai dengan kebutuhannya, pengeringan ada yang menggunakan panas matahari, atau menggunakan panas buatan dari *heater*. Untuk menghitung kadar air setelah pengeringan dapat digunakan persamaan berikut [7]:

$$\text{Kadar Air} = \frac{wm}{wm + wd} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana wm = massa air dan wd = massa bahan yang dikeringkan

2.2. Proses Pengeringan Ongkok

Proses pengeringan ongkok di Kabupaten Tulang Bawang Provinsi Lampung sebagian besar memakai pengeringan sinar matahari. Metode seperti ini memang cukup praktis, akan tetapi kepraktisan tersebut tidak sebanding dengan hasil yang didapat. Dalam prosesnya para petani memakai media pengeringan untuk menampung ongkok basah tersebut. Beberapa media tersebut antara lain [8]:

Media Tampah. Media ini digunakan oleh petani yang memperoleh ongkok basahnya dari pabrik tapioka yang bahan bakunya berupa singkong yang telah dikupas. Ongkok kering yang dihasilkan dari jemuran dengan media tampah, biasanya berkualitas super. Kelemahan penggunaan media ini adalah tidak dapat mengeringkan dalam jumlah yang besar dikarenakan ukuran tampah yang kecil. Mengingat kualitasnya dan lamanya proses pengeringan, maka harga ongkok kering jenis ini sangat tinggi. Untuk daerah Lampung, ongkok kering dengan kualitas ini sangat langka, karena jarang petani yang memakai media ini.

Media Terpal. Media ini biasa digunakan petani untuk menjaga kebersihan dari mutu ongkoknya. Kualitas yang diperoleh cukup baik, mendekati ongkok kualitas super, dan relatif bersih dari kotoran. Kelemahan penggunaan media ini adalah, lama waktu penjemuran menjadi lebih panjang, mengingat pengeringan mengandalkan sinar matahari. Selain itu juga, penggunaan terpal lebih mahal.

Media Lantai Semen. Untuk mengatasi kelemahan penjemuran terpal, petani biasanya menggunakan media semen sebagai lantai jemurnya. Keuntungan menggunakan media ini adalah, mutu jemuran relatif lebih bersih dan kering. Media semen juga menyerap panas matahari, sehingga membantu proses pengeringan. Kelemahannya, jika musim hujan, semen tidak menyerap air, sehingga bila lantai



semen tidak dibuat dengan kemiringan yang cukup, maka air akan menggenang dan menyebabkan warna onggok menjadi kehitaman.

Media Tanah. Dari seluruh media yang digunakan, media tanah ini merupakan media dengan biaya termurah. Di Lampung, rata-rata petani penjemur menggunakan media ini. Keuntungannya, selain biaya yang murah, media ini juga mampu menyerap air dari onggok basah, dan memantulkan panas matahari, sehingga lama penjemuran relatif lebih cepat dibandingkan dengan media terpal. Kelemahannya karena dijemur ditanah, biasanya mutu onggok rendah karena bercampur tanah dan berwarna keabu-abuan. Hal ini bisa diatasi bila petani penjemur rajin membolak-balik je-murannya dan mengayak onggok kering yang dihasilkan.

Bio-Dryer

Bio-dryer merupakan interkoneksi antara *gasifier* dan *rotary dryer*. Alat ini dirancang dengan teknik modifikasi *rotary dryer* untuk pengeringan onggok agar dapat menghasilkan onggok dalam kapasitas besar dan kualitas yang baik. *Bio-dryer* ini menghindari penggunaan solar, batu bara, kayu bakar seperti yang digunakan pada *rotary dryer* yang dapat mengakibatkan mutu pengeringan berbau asap karena berkontak langsung dan penggunaan bahan bakar yang relative mahal.

Gasifier berfungsi menyediakan gas hasil gasifikasi biomasa (*syngas*) yang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk pengeringan onggok dalam drum yang berputar. *Syngas* mengalir ke dalam pipa yang merupakan poros dari *rotary dryer*. Cara ini membuat proses pengeringan tidak berkontak langsung dan hasil pengeringan tanpa bau dapat diharapkan. Dengan penggunaan *syngas*, *Bio-dryer* diyakini mempunyai performan yang lebih baik dalam beroperasi, tidak butuh biaya perawatan dan bahan bakar yang tinggi.

METODE

Proses Perancangan dan Pembuatan *Biodryer*

Perancangan *biodryer* meliputi perancangan *gasifier*, *rotary dryer*, dan *blade* pengarah. Perancangan pada *gasifier* secara umum bertujuan untuk menentukan dimensi reaktor, agar kapasitas panas yang dihasilkan optimal selama proses pengeringan. Pertimbangan yang harus ditetapkan dalam perancangan *gasifier* adalah pemilihan tipe reaktor, luas penampang lintang reaktor, tinggi reaktor, Jumlah aliran udara yang disediakan *blower*, dan Insulasi yang digunakan pada reaktor [Azhari, 2008]. Untuk gasifikasi dengan bahan bakar sekam padi, tipe reaktor yang digunakan adalah *inverted downdraft* [Belonio, 2005].

Perancangan *rotarydryer* didekati dengan menggunakan konsep *heat exchanger* yang bertujuan untuk mendapatkan ukuran panjang dan diameter *rotarydryer* yang optimal terhadap kapasitas pengeringan dalam jumlah tertentu. Secara umum persamaan yang dipakai untuk merancang *biodryer* adalah sebagai berikut:

Perancangan luas permukaan perpindahan panas dapat ditentukan dengan persamaan [Özsisik,1987]:

$$Q_{tot} = U A \Delta T_{LMTD} \quad (1)$$

Dimana,

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_0}{\Delta T_i}} \quad (2)$$

Dan,

$$Q_{total} = Q_{laten} + Q_{sensibel}$$

Dimana:

Q_{total} = Penjumlahan panas laten dan sensibel

A = Luas permukaan kontak perpindahan panas (m²)

D = Diameter pipa penyalur panas (m)

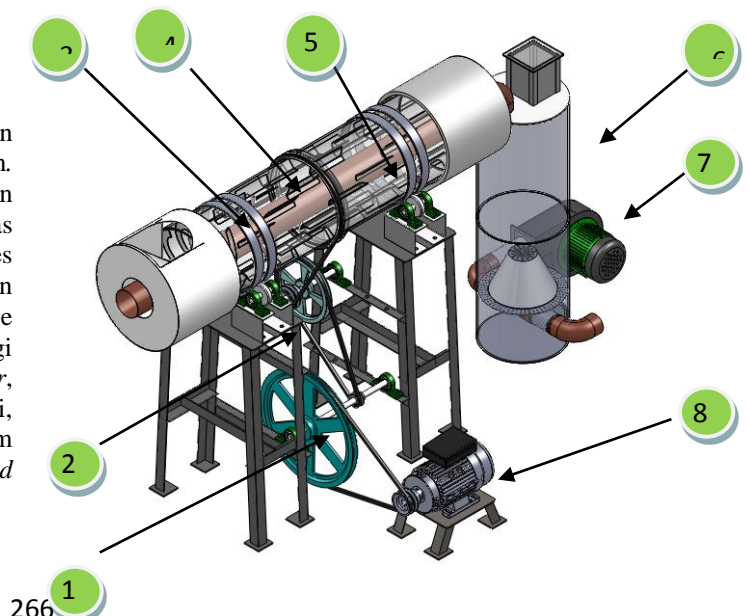
L = Panjang pipa (m)

U = Koefisien perpindahan panas total (W/m²K)

$\square \square_{ln}$ = Logarithmic mean temperature difference across dryer (°C)

Q_{laten} = Kalor yang diperlukan untuk evaporasi air = $Q_{laten} = m_{air} \cdot h_{fg}$

$Q_{sensibel}$ = Kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air = $Q_{sensibel} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$



Gambar 1. Rancangan *biodryer*

Blade pengarah adalah peralatan untuk menangani material yang memiliki sifat mampu alir. *Blade* pengarah akan dipakai sebagai pendorong material keluar *rotary dryer*. *Blade* pengarah mempunyai susunan yang heliks dan berputar didalam silinder. Material yang masuk akan terdorong oleh *blade* sepanjang silinder sejauh susunan *blade*. *Blade* pengarah juga dirancang sesuai dengan karakteristik material yang dikeringkan yaitu ong-gok basah.

Gambar 1. menunjukkan hasil rancangan dari *biodryer*, semua data yang didapat dalam perancangan digunakan untuk membuat *biodryer* sesuai dengan rancangan dan dilakukannya di Laboratorium Produksi dan CNC Teknik Mesin Universitas Lampung.

Proses Instalasi dan Kalibrasi

Pada proses ini, dilakukan interkoneksi antara *gasifier* dengan *rotary dryer* yang kemudian dilanjutkan dengan pemasangan alat ukur. Alat ukur yang digunakan adalah termokopel, *airflowmeter*, neraca *ohauss* digital, timbangan dan takometer. Termokopel digunakan untuk mengukur temperatur udara panas pada ruang dalam *biodryer* sedangkan takometer digunakan untuk mengukur *rpm* dari *biodryer* ketika berputar. Untuk mengukur laju aliran masa udara, digunakan *airflowmeter*. Neraca *ohauss* digital digunakan untuk mengukur berat awal dan berat akhir ongkok untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam ongkok. Semua alat ukur dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan data yang seragam.

Proses Pengambilan Data

Data utama dalam proses pengeringan ini adalah jumlah kadar air (*moisture*) ongkok yang dapat diturunkan dalam proses pengeringan dengan *biodryer*. Jumlah penurunannya kadar air ini sangat bergantung pada putaran *biodryer*, laju suplai udara pada *gasifier*, massa ongkok umpan, dan bahan bakar biomassa. Oleh karena itu setiap pengambilan data, ketiga variabel yang berpengaruh tersebut (kecuali bahan bakar biomassa) dilakukan variasi dalam pengambilan data. Ketiga variabel tersebut divariasikan sebanyak lima level, untuk mendapatkan titik kerja optimal pengeringan pada *biodryer*.

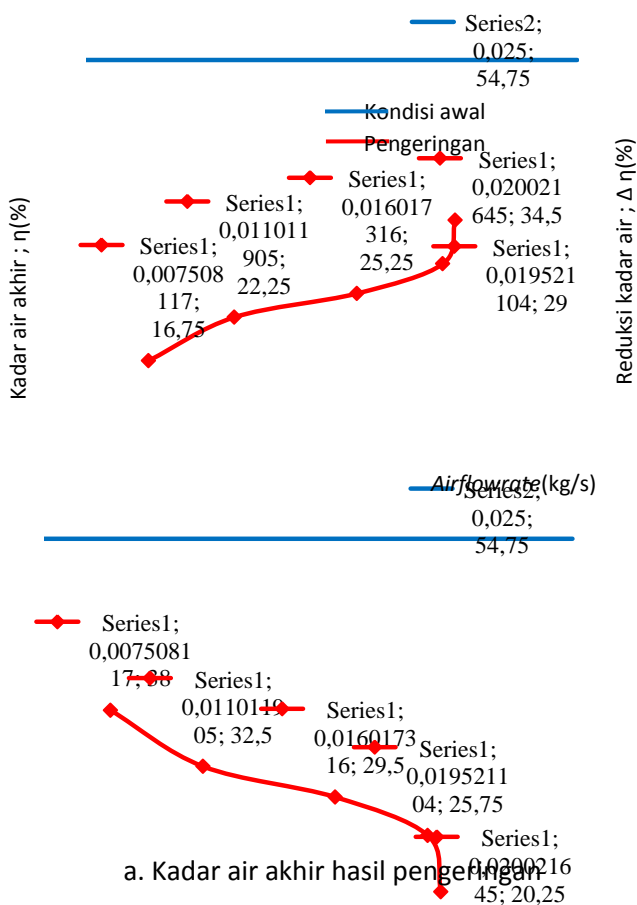
Tabel 1. Variabel dan level-levelnya

| Variabel | Satuan | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Level 5 |
|-------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Laju suplai udara | kg/s | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Massa umpan | kg | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 |
| Putaran <i>biodryer</i> | <i>rpm</i> | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

Analisa data dilakukan terhadap efek putaran *biodryer*, laju suplai udara pada *gasifier*, dan volume ongkok terhadap laju pengeringan ongkok, kapasitas produksi ongkok, dan kualitas ongkok yang dilakukan. Khusus kualitas ongkok, dilakukan analisa fisik dan visual terhadap kadar air, warna, dan bau ongkok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Suplai Udara Gasifikasi VS Kadar Air Ongkok



Gambar 2. Grafik *airflowrate* Vs kadar air

Berdasarkan Gambar 2. terlihat bahwa semakin besar laju suplai udara proses gasifikasi akan meningkatkan laju penguapan uap air ongkok ke lingkungan. Sehingga ongkok yang keluar dari

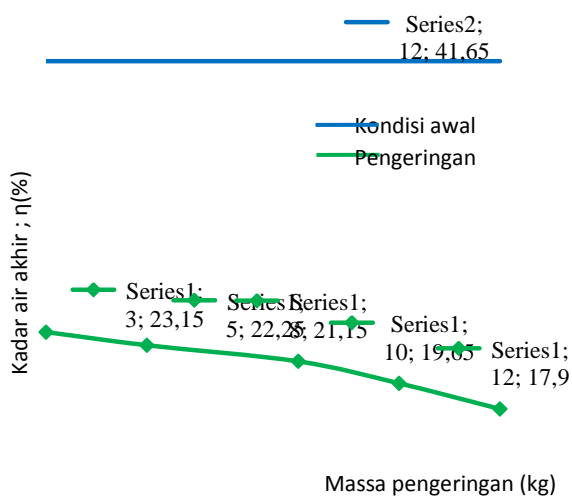
biodryer lebih kering. Reduksi kadar air minimum terdapat pada *airflowrate* 0,007 kg/s dan maksimum pada *airflowrate* 0,02 kg/s. Hal ini disebabkan karena semakin besar jumlah udara yang disuplai, *syngas* terbentuk lebih cepat dan banyak, dan akan meningkatkan laju perpindahan panas konveksi antara udara panas dan ongkok.

Berdasarkan Gambar 2b. terlihat bahwa reduksi kadar air cenderung naik secara linear dari *airflowrate* 0,007 hingga 0,019 kg/s, akan tetapi terjadi peningkatan yang signifikan dari *airflowrate* 0,019 kg/s hingga 0,02 kg/s. Hal ini dikarenakan pada *airflowrate* 0,02 kg/s kalor yang diberikan untuk menaikkan temperatur dan mengevaporasi kandungan air didalam ongkok sudah terlalu besar, sehingga ongkok menjadi kering dan mulai berubah warna. Berdasarkan Gambar 2b. kondisi optimum terdapat pada titik 0,011 kg/s dengan reduksi kadar air 22,25 %. Kondisi ini dipilih dikarenakan ongkok hasil pengeringan tidak ada yang berubah warnanya. Kemudian lama proses gasifikasi pada kondisi ini relatif lebih lama, mengingat bahwa semakin tinggi laju suplai udara, *syngas* yang terbentuk akan semakin cepat dan semakin cepat habis juga.

Massa Pengeringan dan Kualitas Ongkok

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa semakin tinggi massa pengeringan reduksi kadar air pada ongkok semakin kecil, sehingga jumlah kadar air yang tersisa didalam ongkok semakin besar. Reduksi kadar air ongkok minimum terdapat pada massa pengeringan 10 kg yaitu 17,9% dan maksimum terdapat pada massa pengeringan 3 kg sebesar 23,15%.

b. Reduksi kadar air



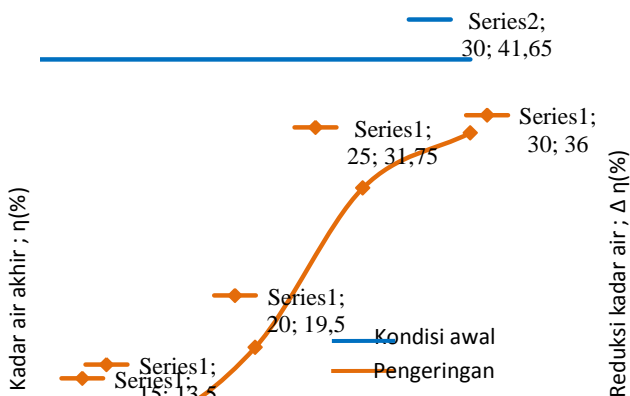
a. Kadar air akhir hasil pengeringan

Gambar 3. Grafik massa umpan Vs kadar air

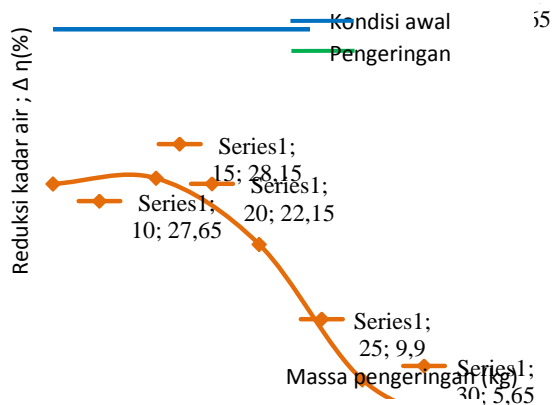
Peningkatan sisa kadar air pada ongkok ini terjadi dikarenakan, semakin besar massa yang diumpukan dalam sekali pengumpanan, kebutuhan kalor laten dan sensibel untuk menaikkan temperatur dan mengevaporasi kandungan air pada ongkok semakin besar. Peningkatan kebutuhan kalor laten dan sensibel ini, tidak diimbangi dengan peningkatan kalor yang dihasilkan dari pembakaran *syngas* pada kondisi suplai udara optimum (0,011 kg/s) karena di setel konstan. Kondisi optimum terdapat pada massa pengeringan 10 kg kemudian 12 kg, dikarenakan reduksi kadar air cukup besar sekitar 20% dan kapasitas pengeringan dalam sekali pengeringan lebih banyak.

Putaran Biodryer dan Kadar Air Ongkok

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa semakin cepat putaran *biodryer* kandungan air yang menguap ke lingkungan semakin sedikit, sehingga kadar air yang tersisa pada ongkok masih cukup tinggi. Kadar air sisa terbanyak terjadi pada putaran 30 rpm dan terkecil pada putaran 15 rpm dengan reduksi kadar air sebesar 28,15 %.



a. Kadar air hasil pengeringan



b. Reduksi kadar air

Gambar 4. Grafik putaran *biodryer* Vs kadar air

Peningkatan sisa kadar air ini disebabkan oleh, *resident time* ongkok untuk ber-kontak dengan udara panas di dalam ruang *biodryer* semakin pendek. *Residenttime* yang pendek tersebut disebabkan semakin cepat putaran *biodryer* maka semakin cepat juga ongkok keluar dari *biodryer*. Hal ini terjadi karena adanya dorongan dari *blade* pengarah di dalam *biodryer* yang membuat ongkok mengalir keluar dari *biodryer*. Maka dari itu tidak cukup waktu untuk mengevaporasi kandungan air pada ongkok sebanyak mungkin. Kondisi optimal dicapai pada putaran *biodryer* sebesar 20 rpm dengan mempertimbangkan bahwa: dibawah putaran 20 rpm ongkok cenderung berubah warna, lama proses pengeringan yang relatif cepat per 10 kg massa pengeringan, dan kadar air yang dapat dibuang cukup besar yaitu sekitar 20%.

Spesifikasi Biodryer

Berdasarkan hasil analisa sebelumnya didapatkan suatu spesifikasi dari *biodryer* yang ditabulasikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Spesifikasi *biodryer*

| Spesifikasimesin | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Dimensi keseluruhan (p x l x t) | 2.5m x 0.5m x 1.7 m |
| Dimensi <i>rotary dryer</i> | Diameter = 0.32 m; Panjang = 1.5 m |
| Dimensi <i>gasifier</i> | Diameter = 0.32 m; Tinggi = 1.2 m |
| Sumber listrik | AC 1 Phasa |
| Daya motor induksi | 1 HP/0,75kW |

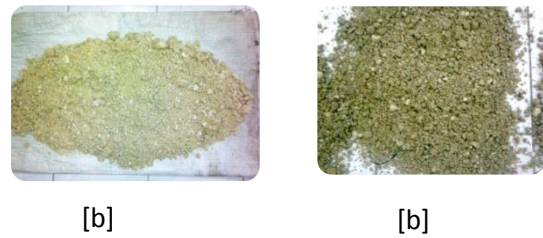
Tabel 2. Spesifikasi *biodryer* (lanjutan)

| Spesifikasimesin | |
|--------------------|------------|
| Daya <i>blower</i> | 100 W |
| Jumlah regulator | 2 buah |
| Jenis bahan bakar | Sekam padi |

Tabel 3. Kondisi operasi optimum *biodryer*

| Kondisi operasi optimum | |
|------------------------------|-------------|
| Rpm | 20 rpm |
| Kapasitas bahan bakar | 5 kg |
| Volume per umpan | 10-12 kg |
| Kadar air umpan | 30-40% |
| Lajusuplaiudaragasifikasi | 0,011 kg/s |
| Reduksi kadar air | 22,15 % |
| kapasitas pengeringan ongkok | 480 kg/hari |
| konsumsi bahan bakar | 110 kg/hari |

Analisis Visual



Ket :

- Ongkokdikeringkandengan*biodryer*
- Ongkokdikeringkandengandijemur

Gambar 5. Perbandingan dua ongkok kering

Berdasarkan Gambar 5. terlihat jelas bahwa ongkok yang dikeringkan dengan cara yang dijemur memiliki warna yang lebih kelabu dibandingkan dengan yang dikeringkan dengan *biodryer*. Ongkok yang dikeringkan dengan dijemur terdapat pasir, kerikil kecil, dan bekas tanah yang membuat ongkok jadi kotor. Ongkok yang dikeringkan dengan *biodryer* memiliki karakteristik warna keputih-putihan dan jauh lebih bersih daripada yang dikeringkan dengan cara dijemur ditanah lapang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Teknologi *biodryer* merupakan teknologi masa depan untuk mengeringkan ongkok singkong. *Biodryer* dapat mengeringkan ongkok singkong sebanyak 12 ton hingga 14,4 ton ongkok kering perbulan, jauh lebih besar dibandingkan kapasitas penjemuran yang dila-kukan petani yaitu 6 ton hingga 8 ton perbulan. Kualitas ongkok yang dihasilkan dari *biodryer* mendekati karakteristik kualitas unggul, sehingga pendapatan petani perbulan dapat ditingkatkan secara signifikan dari Rp. 900.000 – Rp. 1.200.000 perbulan menjadi Rp. 8,9 juta – Rp.13,6 juta perbulan.

Saran

Untuk didapatkan hasil yang lebih baik, ongkok umpan harus dilakukan *pre-drying* untuk mengkondisikan kadar air umpan menjadi 30-40%. Sehingga kadar air hasil penge-ringan menjadi sekitar 10%. Maka dari itu diperlukan suatu alat *press* untuk mempercepat dan memudahkan proses *pre-drying* tersebut. Untuk hasil *syngas* yang lebih bersih disarankan reaktor *gasifier* pada *biodryer* dilengkapi siklon, agar debu dari proses gasifikasi dapat terpisah dari *syngas*. Kemudian diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pengeringan komoditas pertanian lainnya seperti jagung, padi, dan kopi menggunakan *biodryer*, agar diketahui karakteristik

hasil pengeringan masing-masing komoditas pertanian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, Riza. 2008, “*Perancangan dan Pembuatan Reaktor Gasifikasi Dengan Bahan Bakar Biomassa (Bonggol Jagung)*”, Tugas Akhir Teknik Mesin, ITB, Bandung.
- Badan Pusat Statistik, 2008, “*Lampung Dalam Angka*”, Available at <http://lampung.bps.go.id/?r=publikasi/publikasi&pub=3&buku=331>, diakses 3 oktober 2010.
- Belonio, Alexis.T, 2005, “*Rice Husk Gas Stove Handbook*”, Illoilo, Filipina
- Direktorat kredit, BPR dan UMKM, 2004, “*Pola Pembiayaan Usaha Kecil (PPUK) Pengolahan Tepung tapioka*”, available at : www.tbtkm@bi.go.id, diakses pada 12 Oktober 2010.
- Oliver Headly, 1997, “*Renewable Energy Technology in the Caribbean*”, Solar Energy Vol. 59, Nos. 1-3, pp. 1-9
- Özisik, M. Necati, 1987. “*Heat Transfer Basic Approach 2nd Edition*”. Mc.Graw Hill International Edition Mechanical Engineering Editions. New York.
- Soteris A. Kalogirou, 2004, “*Solar thermal collectors and applications*”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, pp. 231–295
- Supratman Waras S, 2009, “*Pemanfaatan Limbah Industri (Onggok) sebagai Pakan Unggas*”, Jurnal Urip Santoso, available at: <http://uripsantoso.wordpress.com/>, diakses 7 Maret 2011
- Tarmudji, MS, Drh. 2004, “*Pemanfaatan Onggok untuk Pakan Unggas*”, Tabloid Sinar Tani, Bogor
- Usaha Rakyat, 2011, “*Onggok Singkong*”, available at: <http://www.usaharakyat.com/index.php/ternak/pakan-ternak/121-onggok-singkong.html>, diakses 7 Maret 2011

Umur Pahat dan Kekasaran Permukaan Sewaktu Pemesinan Ti-6%Al-4%V ELI pada Kecepatan Tinggi

Gusri Akhyar Ibrahim¹, Achmad Yahya TP², Tarkono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jurusan Teknik Mesin UNILA, Jl. Sumatri Brodjonegoro No 1 Bandar Lampung 35145

gusriakhyar@yahoo.com

Abstract

Machining process of titanium alloys as aerospace material that has extremely strength to weight ratio and resistant to corrosion at high-elevated temperature, become more interested topic. Quality of machining process is presented by performance of tool and surface quality of titanium alloys. The turning parameters evaluated are cutting speed (55, 75, 95 m/min), feed rate (0.15, 0.25, 0.35 mm/rev), depth of cut (0.10, 0.15, 0.20 mm) and tool grade of PVD carbide tool. The results that Tool life shows three patterns; rapidly increase at the initial stage, gradually increased at the second stage and extremely increased at the final stage. The trend lines of surface roughness have are the surface roughness value is high at first machining after then regularly decreases. At the second stage, the surface roughness is remained stable and followed by decreasing at final stage of tool life.

Keywords: PVD tool, dry machining, Ti-6Al-4V ELI, machined surface

Bahan titanium dan paduannya banyak digunakan untuk mesin pesawat luar angkasa dan struktur rangka pesawat karena bahan ini memiliki kekuatan yang tinggi pada suhu tinggi, tahan korosi pada suhu tinggi, yang bersifat melindungi permukaan (Ezugwu et al. 2003; Ezugwu 2005). Beberapa karakteristik daripada bahan paduan mesin pesawat luar angkasa adalah cenderung membentuk proses pengerasan (*work hardening*), memiliki kekuatan tinggi pada suhu tinggi, mudah bereaksi dengan bahan pahat di bawah lingkungan atmosfer, cenderung membentuk Build-Up- Edge (BUE) dan melekat pada pahat potong (Che Haron, 2001; Ezugwu, 2005). Pemesinan paduan titanium dilatarbelakangi oleh kekuatan yang tinggi pada suhu tinggi, konduktifitas termal yang rendah, modulus elastisitas rendah dan mudah bereaksi dengan bahan lain (Jawaid et al, 2000). Selanjutnya kerentanan paduan titanium akan pengerjaan keras yang akan merusak mampu mesinnya, dengan demikian bahan paduan ini dikategorikan sebagai bahan yang sulit dimesin.

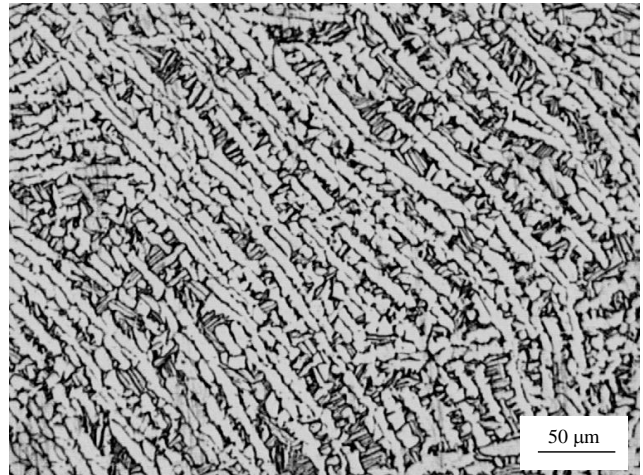
Kemajuan besar dalam pengembangan pahat potong telah berlansung sejak beberapa dekade belakangan ini. Hal ini seiring dengan pengembangan dalam hal mampu mesin paduan titanium. Hampir setiap jenis pahat potong telah dikembangkan termasuk juga pahat bermata intan, pahat keramik dan pahat *cubic boron nitride* (CBN). Pahat tungsten karbida adalah salah satu pahat dengan grad baik yang digunakan untuk memesis paduan titanium dan bahkan sekarang masih menjadi pilihan banyak peneliti (Jawaid et al., 2000). Beberapa usaha telah dilakukan untuk meningkatkan mampu-mesin paduan titanium ketika jenis

pemesinan kering menggunakan pahat konvensional dan modern. Pemesinan kering digunakan bertujuan untuk menghindari bahaya dari pelumas yang bisa merusak kesehatan dan merusak lingkungan bahkan juga dapat mengurangi biaya operasi (Ginting, 2003; Che Haron et al., 2007). Penelitian tentang itu telah menghasilkan perkembangan dalam hal umur pahat dan keadaan permukaan bahan yang dimesin. Aplikasi jenis pahat karbida dilakukan karena pahat ini memiliki sifat tahan aus sehingga memperpanjang umur pahat, bahkan menghasilkan umur pahat beberapa kali lipat dibandingkan dengan pahat biasa (Ezugwu, 2005). Bahkan pada saat ini dikembangkan pahat karbida yang dilapisi dengan lapisan tipis yang keras, yang memiliki potensial untuk memperbaiki sifat mampu mesin paduan titanium, sehingga lapisan tersebut berkontribusi terhadap peningkatan prestasi pahat dan meningkatkan produktivitas pemesinan (Ezugwu et al., 2003; Che Haron et al., 2007).

Pahat tungsten karbida yang dilapisi adalah sangat sesuai untuk proses pemesinan akhir paduan titanium pada kecepatan potong 75 m/min, pemakanan 0.25 mm/rev dan kedalaman potong 0.25 mm. Umur pahat dan keadaan permukaan yang diperoleh dilaporkan bahwa penggunaan lapisan tipis pada pahat pemotong telah mengurangi gesekan antara pahat potong dan bahan kerja (Kennametal, 2006). Aus rusuk rata-rata adalah tipe kegagalan pahat yang dominan, sehingga dapat dikatakan bahwa pahat karbida yang dilapisi dapat digunakan untuk jenis pemesinan kering pada kondisi kecepatan potong sedang dan tingkat pemakanan yang relatif rendah. Aplikasi multi lapisan keras pada pahat karbida dalam keadaan jenis pemesinan kering dilaporkan bahwa mampu meningkatkan produktifitas dibandingkan dengan satu lapisan atau

tidak menggunakan lapisan (Jawaid et al., 1999; Ezugwu et al., 2005).

Peneliti lain juga menemukan bahwa pahat sementit karbida (termasuk pahat karbida yang dilapisi) adalah material pahat yang paling banyak digunakan saat ini untuk memesis paduan titanium karena bahan ini mampu meningkatkan prestasi dalam hal umur pahat dibandingkan dengan jenis bahan lain. Bahkan akhir-akhir ini, pengembangan teknik pelapisan telah menunjukkan kemajuan yang signifikan untuk memesis paduan titanium pada kecepatan tinggi, meskipun dengan peningkatan biaya pembentukan lapisan tipis tersebut (Ezugwu, 2005). Tujuan daripada penelitian adalah untuk mengkaji prestasi pahat karbida yang lapisi tipis TiAlN dengan teknik Powder Vapor deposition (PVD-TiAlN) untuk memesis paduan titanium Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan pemesisan kering pada berbagai jenis parameter pemotongan.



Gambar 1. Mikrostruktur paduan titanium Ti-6Al-4V-ELI

Komposisi kimia bahan digunakan adalah sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1. Sekurangnya 3 mm dari permukaan bahan dibuang agar supaya menghilangkan berbagai macam kerusakan permukaan dan tegangan sisa yang dapat merusak hasil pemesisan (Kalpakjian and Rchmid, 2001).

Pemesisan dilakukan dalam keadaan kering dan kecepatan tinggi dilakukan menggunakan mesin bubut Colchester T4 6000. Pahat dan pemegang pahat yang digunakan adalah atas rekomendasi dari suplayer pahat (Kennametal, 2006). Pahat bubut jenis Physical Vapor Deposition (PVD) mempunyai standar kode KC9225 (CCMT 12 04 04 LF, ISO standar digunakan untuk membubut Ti-6Al-4V ELI dalam kondisi kering tanpa menggunakan pelumas. Keadaan parameter pemotongan yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

PROSEDUR PENELITIAN

Bahan yang digunakan sebagai benda kerja adalah paduan titanium alpha-beta Ti-6Al-4V Extra Low Interstitial (Ti-6Al-4V ELI), yang mempunyai fasa equiaxed α dan fasa β sekelilingnya sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.

Tabel 1. Komposisi kimia bahan benda kerja Ti- 6Al-4V ELI (% wt)

| HEAT | C | Si | Fe | Ti | Al | N | V | S | O | H | Y |
|---------|------|--------|------|------|-----|-------|-----|---------|------|--------|---------|
| C-11465 | 0.11 | < 0.03 | 0.18 | Bal. | 6.1 | 0.007 | 4.0 | < 0.003 | 0.11 | 0.0031 | < 0.005 |

Tabel 2. Faktor dan level yang digunakan pada penelitian ini

| Faktor | Level | | |
|-----------------------------|-------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 |
| A- Kecepatan potong (m/min) | 55 | 75 | 95 |
| B- Pemakanan (mm/rev) | 0.15 | 0.25 | 0.35 |
| C- kedalaman potong (mm) | 0.10 | 0.15 | 0.20 |

Aus rusuk rata-rata (VB) diukur menggunakan alat ukur pahat Mitutoyo dengan pembesaran mencapai 20x pembesaran, dan waktu pemesinan dicatat menggunakan stopwatch. Aus pahat dan waktu pemotongan dicatat setiap satu kali pembubutan. Proses pembubutan akan dihentikan apabila aus rusuk telah mencapai 0,2 mm. Jenis aus dan tipe kegagalan pahat diamati menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Sedangkan kekasaran permukaan diukur menggunakan roughness tester Mohr.

HASIL DAN DISKUSI

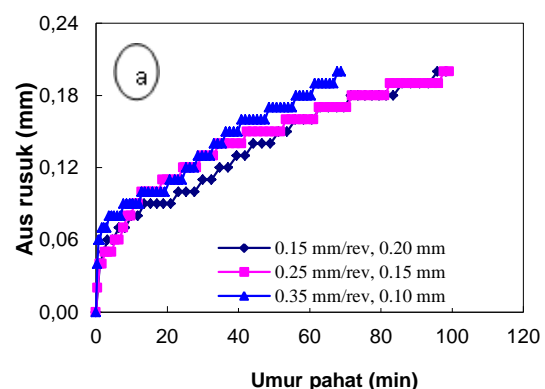
Umur Pahat

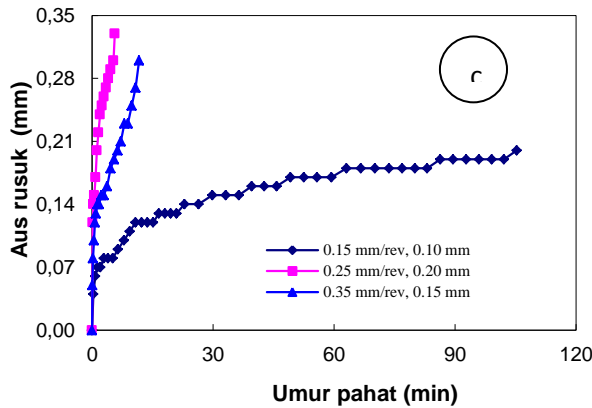
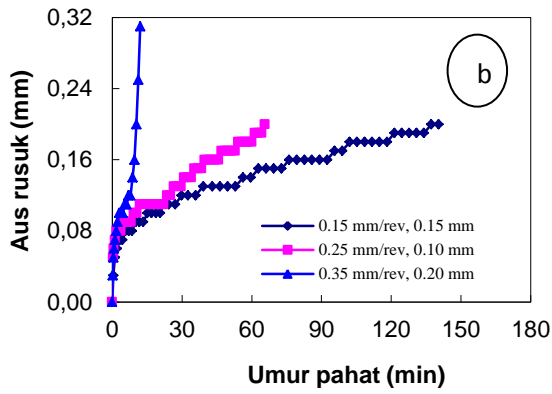
Progres aus rusuk melawan umur pahat bubut untuk pembubutan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida PVD pada kecepatan potong 55, 75 and 95 m/min, dan pada berbagai tingkat pemakanan dan kedalaman potong sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Dapat dilihat dengan jelas bahwa tipe ketiga jenis tahapan aus pahat yang didapatkan adalah sama. Hal seperti ini juga laporkan oleh Jawaid et al. (1999) pada waktu memesin paduan titanium menggunakan pahat karbida yang dilapisi dan tidak dilapisi. Aus berlaku secara cepat pada awal pemotongan, meningkat secara teratur pada tahap kedua serta meningkat secara mendadak pada akhir pemotongan. Peningkatan aus yang cepat pada awal pemotongan disebabkan oleh permukaan yang bersentuhan antara pahat bubut dan benda kerja adalah kecil, sehingga menyebabkan suhu meningkat pada ujung pahat bubut. Dengan demikian sebagian bahan mudah terlepas dari permukaan pahat bubut (Che Haron, 2001). Ibrahim et al. (2007) menemukan bahwa tanda bekas terbakar ditemukan pada lapisan pahat bubut pada waktu memesin paduan titanium menggunakan pahat karbida dalam keadaan pemesinan kering karena suhu lebih banyak terkonsentrasi pada bagian ujung pahat saja, sedangkan pada bagian lain relatif rendah karena sifat titanium yang memiliki konduktivitas rendah.

Gambar 2(a) menunjukkan bahwa progress aus pahat PVD pada berbagai tingkat pemakanan dan kedalaman potong, yang mana kecepatan potong tetap pada 55 m/min. Progress aus untuk semua kombinasi pemakanan dan kedalaman potong menunjukkan bahwa pada tingkat awal pemotongan aus meningkat secara dramatis sehingga aus rusuk mencapai $VB = 0.06$ mm. Kombinasi antara tingkat pemakanan yang tinggi dan kedalaman potong tinggi memberikan efek yang lebih signifikan terhadap umur pahat. Kedalaman potong yang tinggi secara

langsung mempengaruhi gaya potong disebabkan oleh bidang kontak yang besar antara pahat dan bahan kerja. Sedangkan, pemesinan pada kecepatan tinggi dapat menyebabkan aus yang lebih parah pada ujung pahat bubut. Oleh karena konduktivitas paduan titanium rendah, hal ini menyebabkan panas yang dibangkitkan terkonsentrasi pada ujung pahat potong saja. Jawaid (1999) menemukan bahwa pemakanan juga berkontribusi terhadap peningkatan suhu selama proses pemesinan paduan titanium. Lebih jauh, pemesinan paduan titanium pada parameter pemotongan tinggi akan menyebabkan aus yang lebih parah pada ujung pahat dibandingkan dengan pemesinan pada kondisi parameter pemotongan rendah.

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa progress aus dari tiga jenis pahat bubut yaitu pada kecepatan potong 75 m/min dan berbagai jenis pemakanan dan kedalaman potong. Pola progress aus pada pemakanan 0.15 mm/rev dan kedalaman potong 0.10 mm adalah sama dengan pada pemakanan 0.25 mm/rev dan kedalaman potong 0.20 mm dari saat awal pemotongan hingga pahat mengalami aus. Pada tahap awal pemotongan, progress aus meningkat sangat cepat sampai aus VB mencapai 0.10 mm, selanjutnya berlaku aus meningkat secara teratur hingga aus mencapai 0.20 mm. Oleh karena itu, kadar pemakanan dan kedalaman potong memberikan kontribusi yang sama terhadap aus pahat. Sebaliknya, pemotongan pada kadar pemakanan rendah (0.15 mm/rev) dan kedalaman potong rendah (0.10 mm) menghasilkan progress aus yang rendah juga. Pemesinan titanium pada kedalaman potong rendah menghasilkan gaya potong rendah, yang juga berkontribusi terhadap progress aus paduan titanium (Trent, 1995; Ezugwu et al., 2003). Mereka juga menemukan bahwa pemotongan pada kedalaman potong dan kecepatan potong rendah, dapat menyebabkan geram (chips) pada ujung pahat dan aus berlaku secara dominan pada ujung pahat (nose radius)





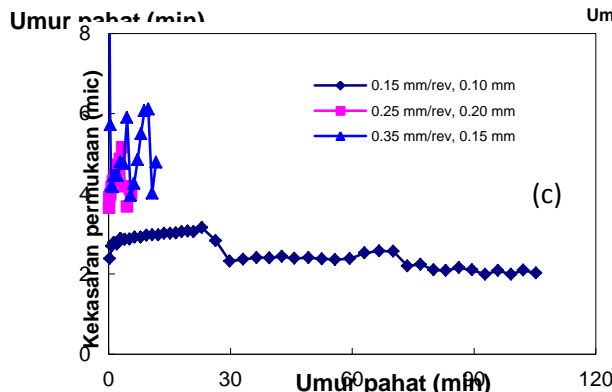
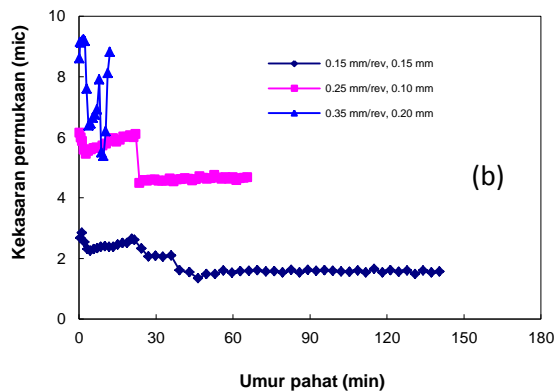
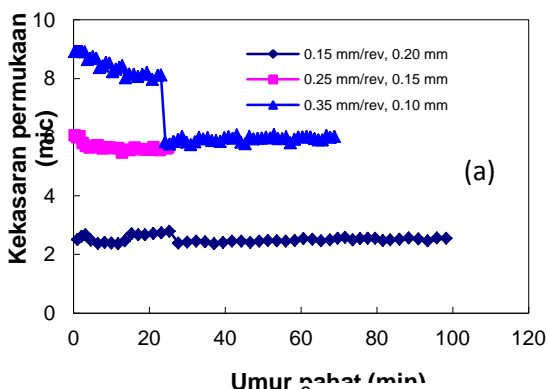
Gambar 2. Progres aus rusuk dari pahat sementif karbida pada kecepatan potong (a) 55 m/min (b) 75 m/min (c) 95 m/min

Variasi parameter pemesinan, pada kadar pemakanan tinggi dan kedalaman potong rendah atau kadar pemakanan rendah dan kedalaman potong tinggi, memberikan kontribusi yang sama terhadap progress aus pahat bubuk sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2©. Pada tahap awal pemesinan, aus meningkat secara cepat hingga VB

mencapai 0.13 mm. Kemudian diikuti oleh peningkatan aus yang signifikan hingga akhir umur pahat. Manakala, pada kadar pemakanan 0.15 mm/rev dan kedalaman potong 0.20 mm, umur pahat meningkat secara sangat cepat hingga VB mencapai 0.07 mm, dan kemudian meningkat secara teratur sampai akhir umur pahat bubuk. Dapat dilihat secara jelas bahwa proses pemesinan pada kadar suapan rendah dan kecepatan potong tinggi menghasilkan umur pahat yang lebih panjang.

Permukaan benda kerja yang dimesin

Gambar 3a, 3b dan 3c menunjukkan variasi nilai kekasaran permukaan melawan waktu pemotongan pada masa memesis Ti-6Al-4V ELI dengan pahat karbida yang dilapisi TiAlN dalam keadaan pemesinan kering pada pada kecepatan potong 55, 75 dan 95 m/min. Masing-masing kurva menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekasaran permukaan pada waktu pemesinan pada kadar pemakanan (0.15, 0.25 and 0.35 mm/rev). Secara kalsik, nilai kekasaran permukaan ditentukan oleh persamaan $h \approx f^2/8R$ or $h_{CLA} \approx f^2/18 (3R)^{1/2}$ (Bhattacharya 1984). Dimana, h adalah tinggi puncak-ke-puncak, h_{CLA} adalah pusat kekasaran permukaan rata-rata, f adalah kadar pemakanan dan R adalah jari-jari kelengkungan ujung pahat. Rumus ini menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat bergantung kepada kadar pemakanan dan jari-jari pahat bubuk. Gambar 3 menunjukkan bahwa pengaruh kadar pemakanan sangat signifikan sehingga dapat dikatakan pemilihan kadar pemakanan yang rendah menghasilkan keadaan permukaan yang lebih baik.



Gambar 3 Nilai kekasaran permukaan pada kecepatan potong (a) 55 m/min, (b) 75 m/min dan (c) 95 m/min.

Gambar 3a menunjukkan nilai kekasaran permukaan pada kecepatan potong 55 m/min dan pada berbagai macam kadar pemakanan, 0.15, 0.25 dan 0.35 mm/rev. Nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan pada kadar pemakanan 0.35 mm/rev adalah lebih tinggi pada awal pemesinan dan cenderung stabil hingga mencapai VB 0.2 mm. Nilai kekasaran tinggi pada awal pemotongan disebabkan oleh ujung pahat yang masih tajam, sedangkan nilai kekasaran permukaan yang cenderung stabil (sedikit meningkat) disebabkan oleh deformasi telah terjadi pada muka rusuk pahat atau sebagian material titanium melekat pada jari-jari ujung pahat bubut (Che Haron 2001). Sedangkan menurut Bhattacharya (1984), penurunan nilai kekasaran permukaan disebabkan oleh perubahan jari-jari ujung (menjadi lebih besar). Jika jari-jari ujung semakin lebar, maka jari-jari ujung semakin besar dan nilai kekasaran permukaan semakin halus. Untuk kadar pemakanan 0.35 mm/rev, nilai kekasaran permukaan menurun pada saat umur pahat 26.13 menit. Hal ini disebabkan oleh chipping pada jari-jari ujung, yang mempunyai panjang 0.07 mm dari hujung potong. Sebaliknya, pada pemakanan 0.20 mm/rev, nilai kekasaran permukaan sedikit menurun sepanjang proses pembubutan. Nilai kekasaran permukaan pada akhir umur pahat adalah 2.52 μ m.

Secara umum, kecenderungan hasil yang sama juga ditunjukkan oleh setiap kurva pada saat memesin paduan titanium pada kecepatan potong 75 m/min sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3b dan 3c. Nilai kekasaran permukaan relative lebih tinggi pada saat awal pemotongan dan cenderung stabil pada tahap berikutnya. Bahkan juga ditemukan nilai kekasaran permukaan tidak teratur di sebagian besar keadaan pemotongan seperti yang ditunjukkan pada kadar pemakanan 0.35 mm/rev dan kedalaman potong 0.15 mm. Ketidak-teraturan nilai kekasaran permukaan tersebut disebabkan oleh operasi pada kadar suapan yang tinggi (0.35 mm/rev). Sebagaimana yang ditemukan oleh Che Haron (2001) bahwa ketidakstabilan nilai kekasaran permukaan pada saat memesin paduan titanium disebabkan oleh kadar pemakanan yang tinggi, karena kadar pemakanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan disamping jari-jari ujung pahat.

KESIMPULAN

Daripada hasil analisa terhadap umur pahat (PVD) dan nilai kekasaran permukaan dapat disimpulkan bahwa umur pahat yang dihasilkan terdiri dari tiga pola yaitu meningkat secara cepat pada awal pemotongan, meningkat secara teratur pada tahap kedua dan meningkat secara cepat pada akhir umur pahat. Peningkatan secara cepat pada awal pemotongan disebabkan oleh bidang kontak yang kecil antara pahat dan bahan kerja, yang menyebabkan suhu tinggi pada ujung pahat. Pola kecenderungan nilai kekasaran permukaan bahan kerja yang dimesin adalah tinggi pada awal pemotongan, kemudian meningkat secara teratur. Pada tahap kedua, nilai kekasaran permukaan cenderung stabil dan diikuti oleh peningkatan sehingga akhir umur pahat. Pemesinan paduan titanium pada kadar pemakanan yang tinggi menghasilkan nilai kekasaran permukaan tinggi dan tidak teratur, tetapi peningkatan kecepatan potong akan menyebabkan nilai kekasaran permukaan semakin kecil.

1.

REFERESI

Bhattacharya, A. 1984. Metal Cutting - Theory and practice. India.

Che Haron, C.H., 2001, "Tool life and surface integrity in turning titanium alloy", Journal of Material Processing and Technology, 118, 231-237.

Che Haron, C.H. & Jawaid, A. 2005, "The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V", Journal of Materials Processing Technology, 188-192.

Che Haron, C.H., Ginting, A., Arshad, H., 2007, "Performance of alloyed and CVD coated carbide tools in dry milling of titanium alloy Ti-6242S", Journal of Material Processing and Technology, 185, 77-82.

Ezugwu, E.O., 2005, Key improvement in the machining of difficult-to-cut of aerospace Super alloys", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 1353-1367.

Ezugwu, E.O., Da Silva, R.B., Bonney, J., Machado, A.R., 2005, "Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies", Journal of Machine Tools and Manufacture, 45, 1009-1014.

Ezugwu, E.O., Booney, J., Yamane, Y., 2003, "An overview of the machinability of aeroengine alloys", Journal of Material Processing and Technology, 134, 233-253.

- Ezugwu, E.O. & Bonney, J. 2007, "Surface integrity of finished turned Ti-6Al-4V alloy with PCD tools using conventional and high pressure coolant supplies", *International Journal of Machine Tools and Manufacturer*, 884-891.
- Ginting, A. (2003), "Pemesinan Hijau Aloi Titanium Ti-6242S dengan Menggunakan Perkakas Pemotong Pengisar Hujung Karbida", *Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan. Bangi, Universiti Kebangsaan Malaysia*.
- Ibrahim, G.A., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., Burhanuddin, Y., Yasir A., El-maghrabi, N., 2007, "Performance of cemented carbide tools when turning Ti-6Al-4V ELI under dry cutting condition", *EMARC, Universiti Kebangsaan Malaysia*.
- Jawaid, A., Che Haron, C.H., Abdullah, A., 1999, "Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246", *Journal Material Processing and Technology*, 92, 329-334.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S., 2000, "Evaluation of wear mechanism of coated carbide tools when face milling titanium alloy", *Journal of Material Processing and Technology*, 99, 266-274.
- Kennametal, 2006. *Kennametal Lathe Tooling Catalogue*, Kennametal Company.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., 2001, *Manufacturing Engineering and Technology Fourth Edition*. USA, Prentice Hall.
- Kishawy, H.A., Becze, C.E. and McIntosh, D.G., 2004, "Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 152: 266-271.
- Shaw, C.M., 1984, *Metal cutting principles*, Clarendon Press, Oxford.
- Sun, J. and Guo, Y.B., 2008, "A new multi-view approach to characterize 3D chip morphology and properties in end milling titanium Ti-6Al-4V", *International Journal Machine Tools & Manufacture*, 48: 1486-1494.
- Trent, E.M., 1995. *Metal Cutting Third Edition*. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Keausan Excessive Roda Rel Kereta Api Babaranjang Jalur Tanjungenim ke Tarahan

I Made Parwata^{1,2)}, Bagus Budiwantoro¹⁾, Satrio S. Brodjonegoro¹⁾, I GN. Wiratmaja Puja¹⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

Telp. (022) 2500979, Fax. (022) 2516361.

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran Bali 80364, Indonesia

E-mail: md_parwata@yahoo.co.uk

Abstract

Wear and damage to the wheel and rail is a major problem in the world of railways. Wear and damage especially occur when the train passes the curve track, rail joint and crossing. In this study, it is investigated excessive wear mechanisms that occur on the Babaranjang railway line from Tanjungenim to Tarahan. Rail vehicle dynamic modeling had done by using Universal Mechanism software, while the wear phenomena obtained through two-disc experiments. The results showed that the wear rate of rails were 22.6 $\mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ and wear rate of wheels were 16.3 $\mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$. Based on the wear mode, the wear rate was classified as excessive/severe wear.

Keywords: excessive wear, wheel rail, curve track, wear rate

Pendahuluan

Kereta api (KA) memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan moda transportasi lainnya. Ada lima keunggulan kereta api: hemat penggunaan ruang, tingkat keselamatan tinggi, tidak macet, hemat energi, dan ramah lingkungan. Namun kereta api juga memiliki kelemahan yaitu: biaya investasi yang besar, kurang fleksibel sehingga harus terhubung dengan jenis transportasi lain (Setiawan, 2009, Telliskivi dan Olofsson, 2001, FEUI, 2012). Disamping itu, kereta api memiliki kapasitas angkut yang besar dan cocok digunakan untuk perjalanan jarak jauh. Oleh karena itu, kereta api menjadi moda transportasi yang sangat relevan untuk dikembangkan.

Kapasitas angkut kereta api terus meningkat, baik kereta api penumpang maupun barang (IndII, 2010). Demikian halnya KA Babaranjang terus meningkat dari tahun ke tahun. **Error! Reference source not found.** memperlihatkan pengangkutan jumlah batubara yang terus mengalami peningkatan.

Peningkatan kapasitas angkut ini mengakibatkan meningkatnya beban yang diterima oleh roda dan rel. Ketika roda menggelinding pada rel dengan *sliding* dan beban yang besar, sejumlah material pada roda maupun rel akan terlepas akibat besarnya tegangan kontak dan tingginya temperature (Zakharov, dkk., 1998). **Error! Reference source not found.** memperlihatkan bermacam-macam keausan dan kerusakan yang terjadi pada roda dan rel. Keausan terbesar terjadi pada lintasan belok, sambungan rel dan persimpangan (Clayton, 1995). Keausan ini terjadi pada bagian *flange* roda maupun rel. Kerusakan lain seperti penggepengan, retak dan *corrugation* juga terjadi pada lintasan.

Keausan dan deformasi plastik menyebabkan

berubahnya profil permukaan roda dan rel. Mekanisme keausan dan deformasi plastik memegang peranan penting dalam perubahan profil.

Tabel 1 Pengangkutan Batubara di Sumatera Selatan (IndII, 2010)

| | 1991 | 2008 | Pertumbuhan (%) |
|---|--------|---------|-----------------|
| Batubara Suralaya | | | |
| Ton('000) | 4 172 | 8 480 | 4.3 |
| Ton/km(juta) | 1 722 | 3 472 | 4.2 |
| Pendapatan (juta Rp) | 54 604 | 867 008 | |
| Kertapati | | | |
| Ton('000) | 916 | 2 023 | 4.8 |
| Ton/km(juta) | 151 | 328 | 4.7 |
| Pendapatan (juta Rp) | 5 344 | 102 817 | |
| Total | | | |
| Ton('000) | 5 088 | 10 503 | 4.4 |
| Ton/km(juta) | 1 873 | 3 800 | 4.2 |
| Pendapatan (juta Rp) | 59 948 | 969 825 | |
| Pendapatan rata-rata (Rp/ton/km) | | | |
| Batubara Suralaya | 32 | 250 | n.a |
| Batubara Kertapati | 35 | 313 | n.a |

Perubahan ini mempengaruhi kelakuan dinamik kendaraan rel seperti mempengaruhi stabilitas kendaraan, kenyamanan penumpang, kebisingan dan yang lebih berbahaya dapat menyebabkan keluarnya roda dari rel (*derailment*). Besarnya keausan dan bentuk profil yang terjadi merupakan kriteria penggantian dan *reprofile* terhadap rel dan roda. Penggantian dan *reprofile* ini akan memerlukan biaya yang sangat besar dan terganggunya jadwal perjalanan kereta..

Keausan roda dan rel di Divisi Regional III Sumatera Selatan sampai saat ini masih cukup tinggi (*excessive wear*), dimana bagian roda yang mengalami keausan yang cepat adalah *flange* roda. Keausan ini dikenal dengan keausan *flange* roda yang tinggi (*excessive wheel flange wear*),

sedangkan pada rel, keausan yang sangat cepat dialami pada *gage corner* rel (Haryanto, 2007).



(a) Aus pada rel

(b) Aus pada flange roda



(c) Roda keropos

(d) Roda retak



(e) Corrugation rail

(f) Rel gepeng

Gambar 1 Jenis-jenis kerusakan pada roda dan rel

Laju keausan yang terjadi pada roda maupun rel terjadi demikian cepat (*excessive wear*). Laju keausan yang tinggi ini menyebabkan peningkatan biaya pemeliharaan roda dan rel. Penggantian rel dan reprofil roda memerlukan biaya yang sangat besar. Pada tahun 2007, Departemen Perhubungan Republik Indonesia mengalokasikan Rp 160 Miliar untuk memperbaiki jalur di Sumatera Selatan sepanjang 70 km antara Tanah Tinggi sampai Lubuklinggau (Warta Kota Palembang, 2008). Bahkan, pada tahun 2000-2004 diusulkan biaya perawatan dan perbaikan infrastruktur mencapai Rp 11.835 Triliun (Suara Merdeka, 2006). Kalau dibandingkan dengan negara lain, misalkan Cina, Jin dkk (2007) menyatakan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk masalah keausan ini sekitar 11 juta US dollar per tahun dan Uni Eropa pada tahun 1995 memperkirakan biaya perawatan rel mencapai 300 juta Euro per tahun (Cannon dan Pradier, 1996). Bahkan North American Railroad menyisihkan \$ 600 juta per tahun untuk penggantian akibat kerusakan rel pada awal tahun 1980an (Jamison, 1980).

Selain aspek diatas, aspek yang paling penting adalah aspek keselamatan penumpang dan barang. Roda maupun rel yang aus mengakibatkan ketidakstabilan laju kendaraan rel. Ketidakstabilan ini dapat menyebabkan keluarnya roda dari rel, seperti yang dialami oleh kereta Babaranjang (**Error! Reference source not found.**).



Gambar 2. Kereta Babaranjang anjlok di Kampung Umbul Jengkol, Telukbetung Selatan, Bandar Lampung (Lampung-Post, 2008).

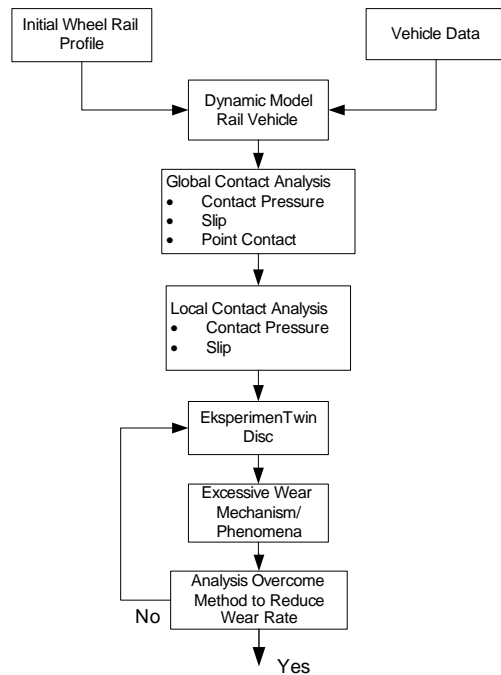
Penelitian tentang keausan telah banyak dilakukan. Zakharov, dkk.,(1998) membuat simulasi melalui eksperimen dua disk berbentuk silinder untuk memodelkan proses keausan antara wheel flange dan bagian muka kepala rel. Pengujian yang dilakukan berupa rolling dengan sliding kearah lateral. Didapatkan 4 mode aus yang diidentifikasi pada test ini yaitu: *mild*, *severe*, *heavy* dan *catastrophic*. *Catastrophic wear* terjadi pada creepages 5%. Selanjutnya, Deters dan Proksch (2005) mengamati gesekan dan pengujian aus material rel dan roda. Dua buah roller digunakan untuk mengamati perilaku aus pada disk. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa volume aus secara proporsional meningkat dengan tekanan yang bekerja dan creep antar roller. Sebaliknya, peningkatan kecepatan keliling disk menyebabkan pengurangan volume aus. Penurunan volume aus pada disk dapat dicapai dengan merubah arah dari gaya gesek yaitu dengan membalikkan arah putaran disk. Kemudian pada tahun yang sama Lewis dan Olofsson (2004) mendapatkan hubungan gaya tangensial dengan wear rate. Gaya tangensial ini dinyatakan dengan *wear index*. Hubungan ini menghasilkan tiga daerah aus berdasarkan besarnya laju keausan yaitu *mild*, *severe* dan *catastrophic wear*. Pada daerah *severe*, laju keausan sebanding dengan *wear index* dibagi dengan luas area kontak. Sedangkan, Gallardo-Hernandez, dkk. (2006) melakukan simulasi temperatur pada kontak dua disk. Pengukuran temperatur dilakukan dengan camera temperatur pada daerah kontak kedua disk. Perhitungan secara analitis juga dilakukan dengan menyamakan panas yang timbul akibat gesekan dengan panas yang hilang akibat konduksi, konveksi dan radiasi. Kedua pendekatan menghasilkan hubungan yang baik antara hasil eksperimen dengan hasil analitis, yaitu peningkatan slip menyebabkan meningkatnya temperatur. Selanjutnya, Lewis dan Dwyer-Joyce (2006) meneliti penggunaan pasir untuk meningkatkan adhesi antara roda dan rel. Test ini dilakukan dengan eksperimen static maupun dinamik. Pada kedua test, pasir menyebabkan kerusakan pada kedua permukaan (roda dan rel). Pada test dinamik dilakukan juga penggunaan pasir pada kondisi basah dan kering. Selama tes dinamik penggunaan pasir menyebabkan keausan meningkat,

aus pada kondisi pasir basah lebih tinggi dari pada kondisi kering.

Selain dengan cara melakukan eksperimen, fenomena keausan dapat dihasilkan secara numerik dengan program komputer. Alwahdi, dkk. (2005) mengamati pengaruh slip sebagian terhadap laju aus pada rel. Pada pemodelan ini material ulet diberikan beban berulang untuk mengamati pengaruh slip tersebut. Hasil simulasi memperlihatkan laju aus meningkat bila koefisien traksi bertambah dan laju aus secara signifikan dipengaruhi oleh keberadaan slip ini.

Pada makalah ini disajikan mekanisme keausan saat kereta melewati belokan dan fenomena keausan. Hasil-hasil ini dapat dipakai sebagai bahan analisis untuk mendapatkan metode untuk mengurangi laju keausan roda rel sebagai upaya mengurangi biaya maintenance roda rel. Metode penelitian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.

Metodologi



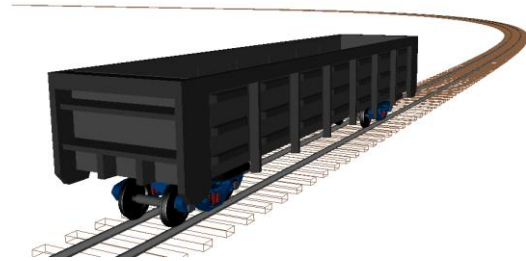
Gambar 3 Bagan metodologi penelitian

Hasil-hasil Penelitian

Model Dinamik Kendaraan Rel

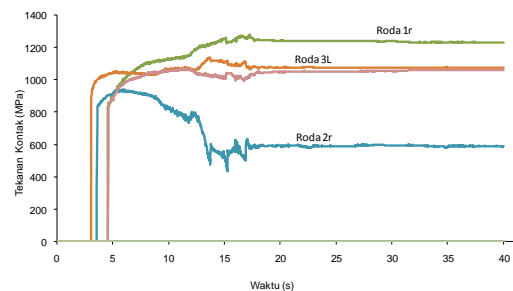
Model kendaraan dan rel seperti **Error! Reference source not found.** Pemodelan dinamika kendaraan rel menggunakan software Universal Mechanism. Kendaraan yang dimodelkan terdiri dari 1 gerbong, 4 wheelset, 2 bolster, 4 side frame dan 8 wedge. Masing-masing komponen ini diperlakukan sebagai sebuah benda dan dihubungkan dengan system pegas damper tanpa massa. Massa kendaraan yang dimasukkan adalah 76 ton dan kecepatan

kendaraan 15,5 km/jam. Sedangkan, track kereta api yang dimodelkan memiliki radius kelengkungan 200 m, panjang track lurus 10 m, track transisi masing-masing 60 m, panjang lengkung 190 m dan elevasi 10,5 cm.



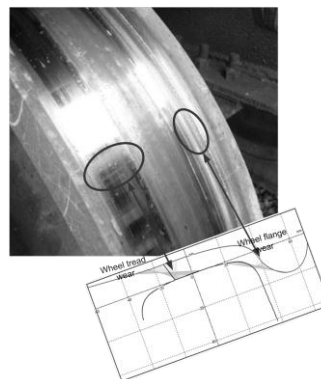
Gambar 4 Model kendaraan dan rel

Hasil simulasi berupa tekanan kontak pada masing-masing roda diperlihatkan pada Gambar 5. Tekanan kontak paling besar dialami oleh roda 1r, yaitu roda depan sebelah kanan. Roda ini terletak di rel luar merupakan rel yang paling cepat mengalami keausan, salah satunya akibat menerima beban yang besar ini. Besar tekanan kontak pada model ini adalah sekitar 1250 Mpa.



Gambar 5 Tekanan kontak pada tiap-tiap roda

Lokasi titik kontak pada belokan ada dua yaitu pada bagian tread dan flange roda. Hasil simulasi dan keausan yang tampak pada roda dan rel memperlihatkan lokasi yang sesuai (**Error! Reference source not found.**). Lokasi titik kontak ini dijadikan acuan untuk pembuatan spesimen yang digunakan dalam eksperimen.



Gambar 6 Lokasi titik kontak roda dan rel

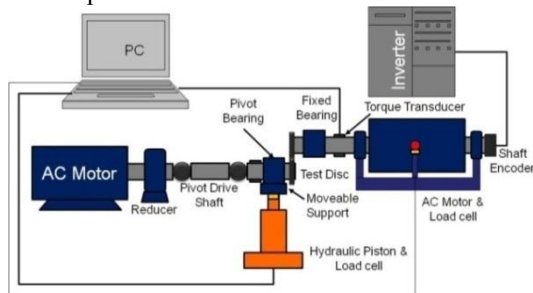
Keausan Pada Roda dan Rel

Eksperimen dua disk digunakan untuk mendapatkan mekanisme *aus excessive*. Spesimen uji dibuat dari material roda dan rel. Bentuk specimen seperti **Error! Reference source not found.** Kedua disk berdiameter 42 mm dan tebal 20 mm, permukaan uji memiliki tebal 10 mm. Radius lateral disk yang terbuat dari rel memiliki radius 13 mm, sedangkan disk yang terbuat dari roda memiliki radius lateral 20 mm.



Gambar 7 Spesimen uji dari roda dan rel

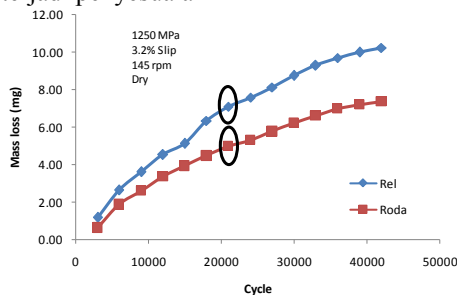
Alat uji yang digunakan adalah alat uji twin disc. **Error! Reference source not found.** menampilkan secara skematik alat ini.



Gambar 8 Skema alat uji twin disc

Kedua disk diputar oleh masing-masing motor. Dengan kecepatan putar yang berbeda sesuai dengan besarnya slip yang diinginkan. Beban kontak diberikan pada disk yang terbuat dari roda melalui dongkrak hidrolik. Beban ini digerakkan secara manual sepanjang eksperimen. Besarnya beban yang diberikan sesuai dengan tekanan kontak yang dibutuhkan yaitu 1250 MPa.

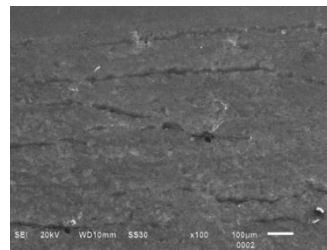
Error! Reference source not found. menjelaskan tentang hubungan antara massa yang hilang dengan jumlah siklus. Pada saat awal sampai putaran mencapai kurang lebih 21.000 siklus, massa yang hilang lebih besar dibandingkan dengan massa yang hilang setelah mencapai 21.000 siklus. Periode ini disebut periode *running in*. Pada periode ini terjadi penyesuaian



Gambar 9 Hubungan jumlah siklus dengan mass loss.

antara komponen-komponen yang bergerak, kekasaran kedua permukaan kontak dan posisi dari kedua disk. Selanjutnya, setelah periode ini dinamakan periode *steady state wear*. Periode ini dicapai setelah 21.000 siklus. Pada periode ini, laju keausan konstan dengan pertambahan jumlah siklus.

Deformasi permukaan kontak roda tampak adanya kerusakan yang cukup parah. Permukaan kontak terlihat kasar dengan deformasi yang cukup besar. Deformasi ini diperlihatkan pada **Error! Reference source not found.** Demikian pula deformasi ke arah gerakan *rolling*, tampak adanya deformasi yang cukup besar. Deformasi ini dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Pada gambar tersebut terlihat pula bekas serpihan-serpihan material yang terkelupas yang cukup dalam. **Error! Reference source not found.** memperlihatkan bahwa keausan pada rel lebih besar daripada keausan pada roda.



Gambar 10 Kerusakan pada permukaan kontak rel



Gambar 11 Deformasi dibawah permukaan kontak rel

Pembahasan

Keausan Excessive Pada Roda dan Rel

Keausan yang terjadi pada roda dan rel diklasifikasikan menjadi empat mode keausan seperti yang dijelaskan oleh Zakharov, dkk. (1998). Total *wear rate* yang dihasilkan pada eksperimen ini sampai 45.000 siklus adalah $22,6 \mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk rel dan $16,3 \mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk roda, dengan tekanan kontak P dikalikan slip λ adalah 40 MPa. Apabila hasil ini dibandingkan dengan hasil pengelompokkan berdasarkan penelitian Zakharov, dkk. (1998) maka keausan roda dan rel yang terjadi pada kereta api Babarpanjang adalah keausan *severe* atau *excessive* yaitu mode *aus tipe II*. Bila dilihat dari kondisi pengujian, tekanan (1250 MPa) dan slip (3,2%), kondisi ini cenderung akan membawa laju

keausan pada mode transisi dari *severe* ke *heavy*.

Pada belokan, massa dan kecepatan kendaraan sangat berpengaruh pada tekanan kontak. Seperti yang dipaparkan oleh Deters dan Proksch (2005) bahwa volume aus meningkat dengan naiknya tekanan kontak. Penelitian yang dilakukan oleh Parwata, dkk (2011) memperlihatkan bahwa pada belokan kecepatan lebih berpengaruh terhadap tekanan kontak daripada massa kendaraan.

Kesimpulan

Dari pemaparan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa laju keausan yang terjadi pada jalur kereta api Tanjungenim-Tarahan adalah *severe wear/excessive wear*. Laju keausan berdasarkan uji laboratorium menghasilkan laju keausan 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk rel dan 16,3 $\mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk roda,

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal DIKTI atas pembiayaan penelitian ini melalui Hibah Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional DIKTI dengan No.Kontrak 445/SP2H/PP/DP2M/VI/2010 dan 508/SP2H/PL/Dit.Litabmas/VII/2011. Terima kasih juga disampaikan kepada PT. INKA atas pemberian ijin pemakaian *software Universal Mechanism*.

Daftar Pustaka

Setiawan, F. A., (2009): Kelebihan, Kekurangan, dan Tantangan Transportasi Kereta Api, <http://megapolitan.kompas.com/read/2009/08/10/13282791/Kelebihan>, Download pada 19 Januari 2012.

Telliskivi, T. dan Olofsson, U. (2001): Contact mechanics analysis of measured wheel-rail profiles using the finite element method, *ProQuest Science Journals*, **215**, 2, 65-72.

FEUI, B. R. L., (2012): Analisis Angkutan Kereta Api dan Implikasinya Pada BUMN Perkeretaapian Indonesia, <http://lmfeui.com/data/Analisis%20Industri%20KA.pdf>, Download pada 20 Maret 2012.

IndII, (2010): Potensi Pasar Kereta Api Indonesia, http://indii.co.id/upload_file/201003181116150.The%20Market%20for%20Railways%20in%20Indonesia%20-%20ina.pdf, Download pada 19 Januari 2012.

Zakharov, S., Komarovskiy, I. dan Zharov, I. (1998): Wheel flange/rail head wear simulation, *Wear*, **215**, 1-2, 18-24.

Clayton, P. (1995): Predicting the wear of rails on curves from laboratory data, *Wear*, **181-183**, 11-19.

Haryanto, D. (2007): *Optimasi Bentuk Profil Roda Gerbong KKBW Di Divisi Regional III Sumatera Selatan PT. KERETA API (PERSERO) Untuk Mengurangi Tingkat Keausan FLens Roda Akibat Kontak Roda Dan Rel*, Disertasi Master, ITB, Bandung.

Warta_Kota_Palembang, (2008): Rel di Sumatera Selatan Diperpanjang, <http://bulletinmetropolis.com/arsip/2008/wk22.pdf>, Download pada 2 April 2010.

Suara_Merdeka, (2006): PT Kereta Api, Kondisinya Makin Memprihatinkan, <http://www.suaramerdeka.com/harian/0601/23/eko09.htm> Download pada 2 Maret 2009.

Jin, X., Wen, Z., Xiao, X. dan Zhou, Z. (2007): A numerical method for prediction of curved rail wear, *Springer Science+Business Media B.V.*, **18**, 531-557.

Cannon, D. F. dan Pradier, H. (1996): Rail rolling contact fatigue Research by the European Rail Research Institute, *Wear*, **191**, 1-2, 1-13.

Jamison, W. (1980): Wear of steel in combined rolling and sliding, *ASLE Trans.*, **25**, 1, 71-78.

Lampung-Post, (2008): Kereta BABARANJANG ANJLOK, <http://www.lampungpost.com/cetak/berita.php?id=2008013101491415>, Download pada 2 Maret 2009.

Deters, L. dan Proksch, M. (2005): Friction and wear testing of rail and wheel material, *Wear*, **258**, 7-8, 981-991.

Lewis, R. dan Olofsson, U. (2004): Mapping rail wear regimes and transitions, *Wear*, **257**, 721-729.

Gallardo-Hernandez, E. A., Lewis, R. dan Dwyer-Joyce, R. S. (2006): Temperature in a twin-disc wheel/rail contact simulation, *Tribology International*, **39**, 12, 1653-1663.

Lewis, R. dan Dwyer-Joyce, R. S. (2006): Wear at the wheel/rail interface when sanding is used to increase adhesion, *ProQuest Science Journals*, **220**, F1,

Alwahdi, F., Franklin, F. J. dan Kapoor, A. (2005): The effect of partial slip on the wear rate of rails, *Wear*, **258**, 1031-1037.

Parwata, I. M., Budiwantoro, B., Brodjonegoro, S. S. dan Puja, I. G. N. W. (2011): Effect of curving speed and mass of railway vehicle to the contact characteristic on curve track, *Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing*, **6**, 3/4, 250-267

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH BERAT DAN BENTUK KATUP BUANG TERHADAP UNJUK KERJA MODEL POMPA TANPA MOTOR (*HYDRAULIC RAM PUMP*)

Tumpal Ojahan R.¹, Jorfri B. Sinaga²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati (UNIMAL) Jl. Pramuka No. 27, Bandar Lampung Telp. (0721)271112, (0721)271114, Fax: (0721)271119, Email: tumpal_ojahan@yahoo.com

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung (UNILA) Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145 Telp. (0721)7479221, (0721)701609 ext. 221&223, Fax: (0721)702767, Email: jorfri6@yahoo.com

Abstrak

Pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) adalah suatu peralatan yang unik, dimana peralatan ini menggunakan energi dari aliran air yang memiliki ketinggian jatuh rendah sebagai energi penggerak untuk memompa sebagian air ke tempat yang jauh lebih tinggi dari head sumber air. Dengan cara ini maka aliran air yang terdapat di daerah lembah dapat digunakan untuk memompa sebagian air tersebut untuk kebutuhan air minum atau untuk irigasi bagi lahan pertanian masyarakat pedesaan yang tinggal di daerah perbukitan, tanpa harus menggunakan energi listrik atau bahan bakar minyak. Dan penggunaan alat ini juga ramah terhadap lingkungan karena menggunakan sumber energi terbarukan. Salah satu komponen yang mempengaruhi unjuk kerja pompa ini adalah katup buang. Pada makalah ini disajikan kajian eksperimental pengaruh berat dan bentuk katup buang terhadap unjuk kerja model pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*). Pengujian terhadap model rancangan *hydraulic ram pump* ini dilakukan dengan menggunakan katup buang berbentuk kerucut dengan berat 52,16 gr, 66,32 gr, 105,33 gr, 112,94 gr dan 223,13 gr dan berbentuk cakram dengan berat 98,42 gr, 114,84 gr, 132,74 gr, dan 153,43 gr. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bentuk dan berat katup memberikan pengaruh terhadap unjuk kerja model *hydraulic ram pump* ini.

Kata kunci: katup buang, pompa, *hydram*, unjuk kerja, energi terbarukan

akan sangat memberatkan bagi masyarakat karena mengeluarkan biaya tambahan baik untuk memenuhi

PENDAHULUAN

Air merupakan sarana yang penting dalam kehidupan manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Kenyataan menunjukkan bahwa masih banyak daerah di pedesaan yang mengalami kesulitan dalam pemenuhan ketersediaan air, baik untuk kebutuhan pertanian maupun untuk kebutuhan rumah tangga, sementara disekitar daerah tersebut terdapat energi aliran air yang dapat digunakan sebagai tenaga untuk memompa air itu sendiri. Hal ini menyebabkan banyak sawah-sawah yang gagal panen diakibatkan oleh kondisi kekeringan seperti yang terjadi pada sejumlah desa di Kabupaten Lampung Tengah, Tanggamus, Pringsewu, dan Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung (Lebih Cepat.Com, 2009). Selama ini untuk mengatasi keadaan tersebut masyarakat dapat menggunakan pompa air yang digerakkan mesin diesel atau motor listrik. Namun hal ini memiliki kelemahan dimana penggunaan pompa air yang digerakkan motor listrik belum tentu dapat digunakan di setiap tempat karena belum tentu tersedia aliran listrik di daerah tersebut, dan selain itu penggunaan pompa yang digerakkan motor listrik maupun mesin diesel membutuhkan biaya operasional seperti biaya energi listrik atau bahan bakar dan juga biaya perawatan. Hal ini tentunya

kebutuhan air rumah tangga maupun untuk kebutuhan pertanian.

Salah satu usaha yang dilakukan untuk mengatasi masalah penyediaan air tersebut yaitu dengan penggunaan suatu pompa yang tidak digerakkan oleh motor listrik atau mesin diesel (*hydraulic ram pump*). Dimana pompa tanpa motor ini menggunakan sumber energi aliran air yang ada di sekitar tempat tinggal penduduk atau lahan pertanian untuk mengangkat sebahagian air dari sumber aliran air tersebut ke tempat tinggal penduduk atau lahan pertanian yang jauh lebih tinggi, sehingga dalam pengoperasiannya pompa tanpa motor ini tidak membutuhkan biaya listrik ataupun bahan bakar minyak. Maka dengan penggunaan *hydraulic ram pump* ini dapat membantu meringgankan beban hidup masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air untuk rumah tangga atau kebutuhan air untuk pertanian.

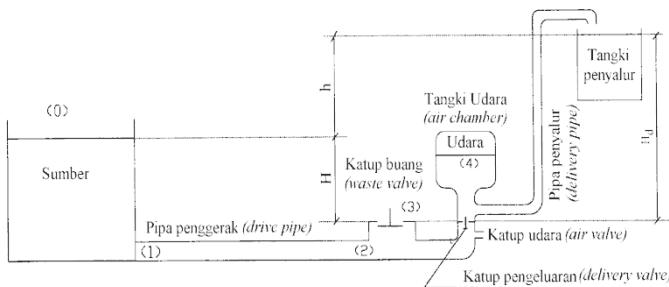
Namun sebelum penggunaan pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) ini dilakukan maka perlu diperoleh metode perancangan *hydraulic ram pump* sehingga nantinya dalam pengoperasiannya diperoleh unjuk kerja yang optimal. Dalam

perancangan *hydraulic ram pump* salah satu komponen yang mempengaruhi unjuk kerja pompa ini adalah katup buang (*waste valve*) pompa. Pada makalah ini disajikan kajian eksperimental pengaruh bentuk dan berat katup buang (*waste valve*) terhadap unjuk kerja model pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) hasil rancangan Saragih dan Sinaga (2008). Penelitian ini juga adalah lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan penulis (Sinaga, 2010 dan Tanti dan Sinaga, 2011).

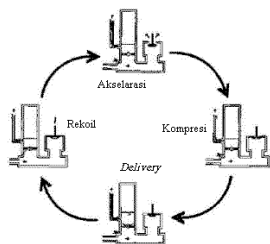
Sistem Pompa Tanpa Motor (Hydraulic Ram Pump)

Instalasi dari seluruh komponen sistem pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) dapat dilihat pada Gambar 1. *Hydraulic ram pump* adalah suatu peralatan yang unik dimana peralatan ini menggunakan energi dari aliran air yang memiliki ketinggian jatuh rendah (H) sebagai energi penggerak untuk memompa (menaikkan) sebagian air ke tempat yang jauh lebih tinggi dari head sumber air (h). Aliran air yang kontinu mengakibatkan pengoperasian pompa ini juga kontinu dengan tidak menggunakan sumber energi lain seperti bahan bakar minyak atau listrik.

Hydraulic ram pump adalah suatu alat yang sederhana secara struktur, dan terdiri atas dua bagian yang bergerak yaitu: katup buang (*waste valve*), dan katup pengeluaran (*delivery valve*). Unit ini juga terdiri atas tangki penyimpanan udara (*air chamber*) dan katup udara (*air valve*) masuk. Pengoperasian pompa *hydraulic ram pump* adalah intermitent akibat siklus pembukaan dan penutupan katup buang dan pengeluaran. Penutup katup buang akan mengakibatkan peningkatan tekanan yang tinggi di dalam pipa suplai (*drive pipe*). Tangki penyimpan



udara dibutuhkan untuk mencegah tekanan yang tinggi ini dan digunakan untuk memompakan air yang mengalir secara intermitent menjadi suatu aliran yang kontinu. Katup udara memberikan udara masuk ke *hydraulic ram pump* menggantikan udara yang diabsorb oleh air akibat tekanan yang tinggi dan percampuran di dalam tabung udara (*air chamber*). Dengan prinsip tersebut membuat *hydraulic ram*



pondapat bekerja selama 24 jam tanpa henti dengan tidak membutuhkan biaya operasional dan hanya membutuhkan sedikit biaya perawatan. Dan juga penggunaan *hydraulic ram pump* ini tentunya sangat baik untuk mendukung pengembangan energi terbarukan (*renewable energy*) yang bebas polusi.

Gambar 1. Instalasi pompa *hydraulic ram pump* (Taye, 1998).

Siklus pemompaan pompa jenis ini dapat dibagi menjadi empat periode, yang didasarkan pada posisi katup buang seperti terlihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Siklus pemompaan *hydraulic ram pump*.

Parameter-parameter dalam Perancangan Hydraulic Ram Pump

Ada beberapa parameter yang berhubungan dengan perancangan *hydraulic ram pump*. Parameter-parameter ini adalah (Tessema, 2000):

- Panjang pipa penggerak (L), diameter pipa penggerak (D), dan ketebalan pipa penggerak
- Head sumber (H) dan head penyaluran (h)
- Kerugian head gesekan di dalam pipa penggerak
- Kerugian head gesekan melalui katup pembuangan
- Kerugian head gesekan pada katup penyaluran
- Kecepatan aliran stedi (V_s) yang melalui katup pembuangan ketika terbuka penuh
- Berat katup (W)
- Langkah pemompaan (S)
- Luas orifice yang membuka katup (A_0) dan
- Luas penampang katup (A_v) dan
- Ukuran tangki udara.

1.3 Pemodelan Katup buang (Waste Valve)

Katup buang dimodelkan sebagai suatu pipa yang pendek dengan diameter yang berubah. Panjang pipa ini diandaikan sama dengan panjang langkah dari katup L_{v1} . Diameter katup ditentukan bervariasi dari 0 sampai sama dengan diameter pipa D_i , untuk menggambarkan perubahan katup dari tertutup sampai terbuka penuh.

Pembukaan katup relatif τ didefinisikan sebagai

$$\tau = \left(\frac{D_v}{D_i} \right)^2 \tag{1}$$

Maka,

$$D_v = D_i \sqrt{\tau} \tag{2}$$

Pembukaan katup dikontrol oleh pergerakan katup, yang dapat ditentukan dari:

$$\ddot{x} = -g + \frac{A_d}{M_v} \left(C_d \frac{1}{2} \rho V_1^2 + P_1 - P_2 + L_{v1} \rho g \right) \quad (3)$$

dimana A_d adalah luas efektif permukaan katup, P_1 dan P_2 adalah tekanan pada bagian pipa suplai (*drive pipe*) dan permukaan bebas katup, V_1 adalah kecepatan aliran pada bagian keluar pipa penggerak, M_v adalah massa katup buang, dan C_d adalah koefisien geseran katup. Dengan mengintegrasikan Persamaan 3, nilai τ sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\tau = -x/L_{v1} \text{ untuk } -L_v < x < 0$$

$$\tau = 0 \text{ untuk } 0 < x$$

$$\tau = 1 \text{ untuk } x < -L_v$$

Efisiensi Pemompaan

Metode yang digunakan untuk menghitung efisiensi pompa ini, yaitu metode Rankine dan metode D'Aubuisson (Taye, 1998):

$$\eta_{\text{Rankine}} = \frac{Q \times h}{((Q + Q_w) \times H)} \quad (4)$$

$$\eta_{\text{D'Aubuisson}} = \frac{Q \times H_d}{((Q + Q_w) \times H)} \quad (5)$$

dimana η adalah efisiensi pompa, Q adalah aliran yang dipompakan (lit/men), Q_w adalah aliran yang terbuang (lit/men), H adalah head sumber di atas pembukaan katup pembuangan (m), h adalah head pompa di atas head sumber (m), H_d adalah head total di atas pembukaan katup pembuangan = $(H+h)$ (m)

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Membuat model sistem instalasi pengujian *hydraulic ram pump* seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Perancangan model *hydraulic ram pump* ini pun dibuat dari material yang mudah didapatkan di pasar. Parameter-parameter model *hydraulic ram pump* ini ditentukan dengan menggunakan head sumber 1 m, pipa penggerak yang digunakan adalah pipa bahan PVC dengan diameter 1 in. (2,54 cm) dan panjang pipa diambil 5 m, pipa penyalur yang digunakan adalah pipa (selang) plastik dengan diameter 0.5 in. (1,27 cm). Rumah pompa dibuat dari

gabungan beberapa peralatan material yang mudah dijumpai dipasar yang berupa sambungan T, *double nipple*, dan belokan, yang kesemuanya memiliki ukuran 2 in. (5,08 cm). Model pompa *hydraulic ram* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Sistem instalasi model pengujian *hydraulic ram pump*.



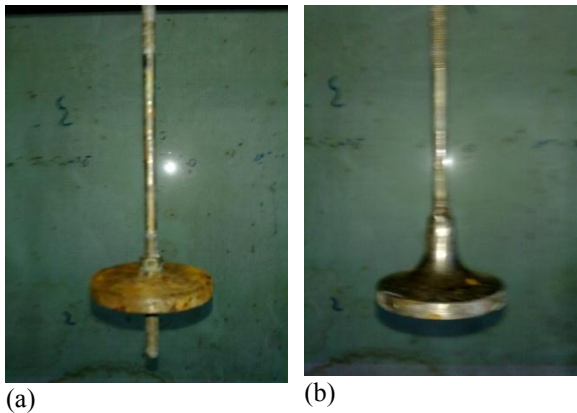
Gambar 4. Model *hydraulic ram pump*.

- b. Pelaksanaan Pengujian

Dalam penelitian ini hal yang menjadi perhatian utama adalah variasi berat dan bentuk geometri katup buang (*waste valve*) terhadap unjuk kerja *hydraulic ram pump*. Pengujian model *hydraulic ram pump* ini dilakukan dengan menggunakan ukuran diameter dan berat yang berbeda untuk masing-masing bentuk kerucut dan cakram dimana pengoperasian panjang langkah katup buang 4 mm, 6 mm, 8 mm, 9 mm dan 10 mm. Untuk head sumber digunakan pada 1 m dan head penyaluran pada 8,5 m. Setelah dilakukan pengujian terhadap *hydraulic*

ram pump, maka didapatkan data-data yang berhubungan dengan kinerja model *hydraulic ram pump* yaitu laju aliran air terbuang (Q_w), laju aliran air yang disalurkan (Q).

efisiensi 68,35 % untuk ketinggian head pemompaan 9,5 m, dan pemompaan air 3 lit/men dengan efisiensi 78,7 % untuk ketinggian head pemompaan 8,5 m.



Gambar 5. Geometri katup buang (a) bentuk cakram (b) bentuk kerucut.

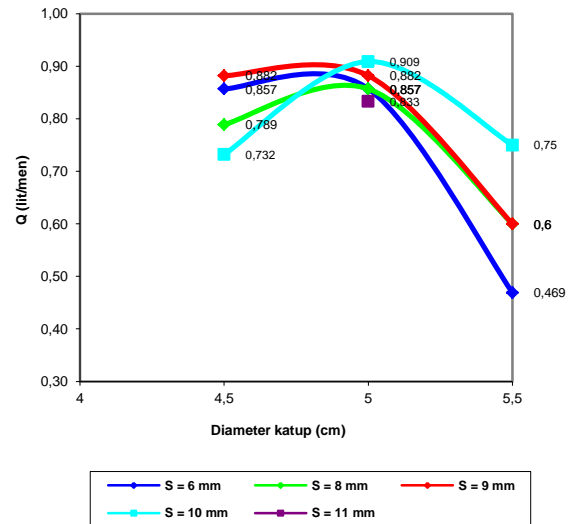
Tabel 2. Ukuran dan berat katup yang digunakan

| Katup berbentuk cakram | | Katup berbentuk kerucut | |
|------------------------|------------|-------------------------|------------|
| Diameter (cm) | Berat (gr) | Diameter (cm) | Berat (gr) |
| 4 | 98,42 | 3,14 | 52,16 |
| 4,5 | 114,84 | 4,05 | 66,32 |
| 5 | 132,74 | 4,4 | 105,33 |
| 5,5 | 153,43 | 4,6 | 112,94 |
| | | 5,6 | 223,13 |

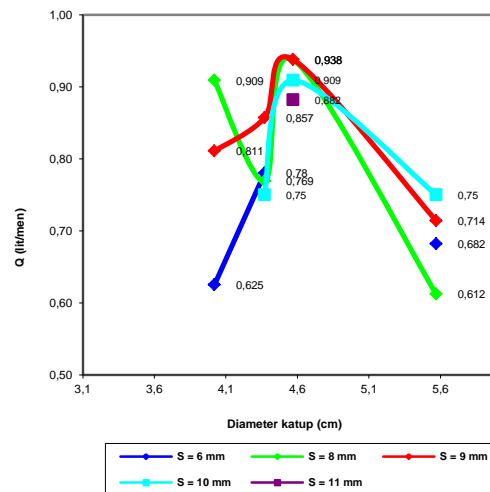
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian terhadap model *hydraulic ram pump*, maka didapat data-data yang berhubungan dengan kinerja model pompa yaitu laju aliran air terbuang (Q_w), laju aliran air yang dipompakan (Q) untuk head penyaluran (h) 8,5 m dan head sumber (H) 1 m. Efisiensi pompa dihitung dengan menggunakan metode Rankine.

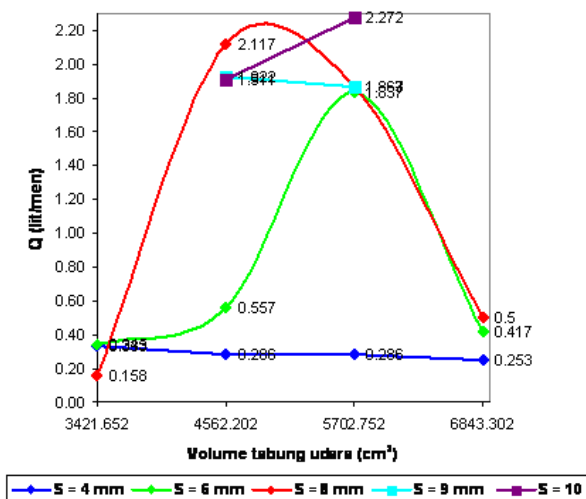
Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dan dari grafik hubungan antara laju aliran volume air yang dipompakan dengan bentuk geometri katup, maka yang digunakan katup bentuk kerucut dengan diameter katup 4,6 cm dan berat 112,94 gr, dimana hasil pengujian menunjukkan dengan penggunaan katup ini jumlah laju aliran volume air yang dipompakan secara keseluruhan lebih baik dibanding penggunaan katup bentuk cakram, dan jumlah laju aliran volume air paling maksimum yaitu 0,938 lit/men. pada pengoperasian panjang langkah katup 9 mm. Penggunaan katup berbentuk kerucut ini juga divariasikan dengan volume tabung udara untuk memperoleh unjuk kerja pengoperasian yang optimal (Tanti dan Sinaga, 2011). Dengan menggunakan volume tabung udara 5702,754 cm³ dihasilkan pemompaan air 2,272 lit/men dengan



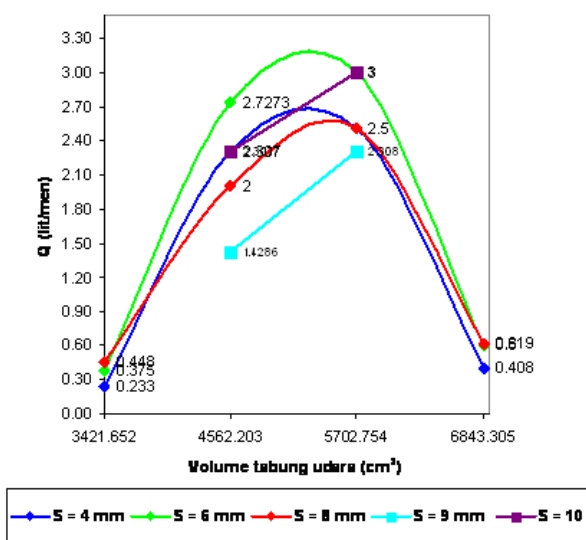
Gambar 6. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang dipompakan terhadap diameter katup berbentuk cakram untuk head penyaluran 8,5 m.



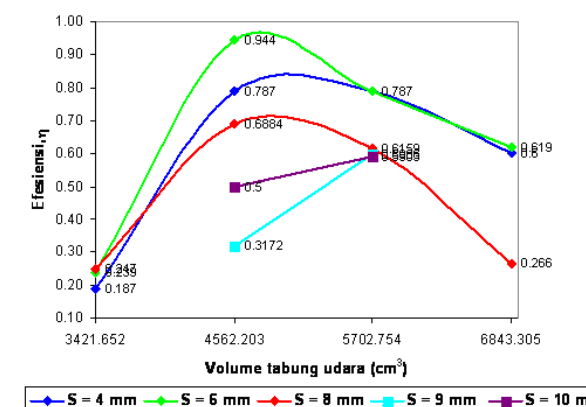
Gambar 7. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang dipompakan terhadap volume udara untuk head penyaluran 9,5 m.



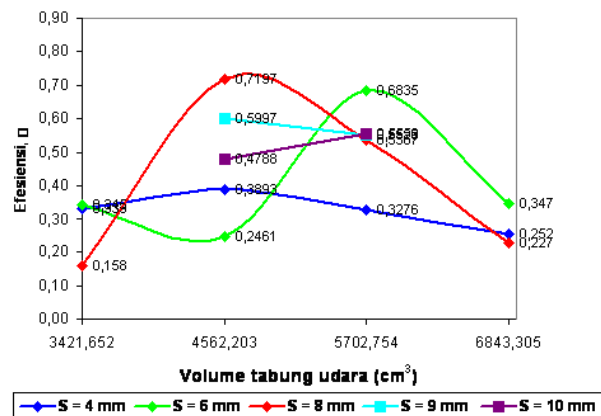
Gambar 8. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang dipompakan terhadap volume tabung udara untuk head penyaluran 9,5 m.



Gambar 9. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang dipompakan terhadap volume tabung udara untuk head penyaluran 8,5 m.



Gambar 10. Grafik hubungan antara efisiensi terhadap volume tabung udara untuk head penyaluran 8,5 m.



Gambar 11. Grafik hubungan antara efisiensi terhadap volume tabung udara untuk head penyaluran 9,5 m.

Hasil pengujian yang dilakukan ini menunjukkan bahwa penggunaan katup buang berbentuk kerucut memberikan unjuk kerja pemompaan yang lebih baik disebabkan energi tekanan air saat akselerasi yang digunakan untuk menutup katup buang pada langkah kompresi tidak terlalu lama karena tahanan geseran yang diberikan katup berbentuk kerucut lebih kecil dibandingkan katup berbentuk cakram dan energi tekanan yang diberikan udara untuk memompakan air cukup.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dari hasil perancangan model pompa *hydraulic ram* ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Bentuk, ukuran dan berat katup buang mempengaruhi unjuk kerja dari model *hydraulic ram pump*.
2. Kondisi pengoperasian ideal model pompa *hydraulic ram* ini adalah menggunakan katup buang bentuk kerucut dengan diameter 4,6 cm, berat 112,94 gr dan volume tabung udara 5702,754 cm³ dimana laju aliran volume air yang dipompakan 3 lit/men untuk kondisi pengoperasian head sumber 1 m, dan head penyaluran 8,5 m.
3. Model pompa *hydram* yang telah dibuat ini mampu mengangkat air hingga mencapai ketinggian hingga 9,5 m dengan laju aliran volume air yang dipompakan 2,272 lit/men untuk kondisi pengoperasian head sumber 1 m.
4. Teknologi pompa *hydram* dapat diterapkan di Propinsi Lampung dengan tersedianya beberapa sumber energi aliran sungai yang

cukup banyak sebagai tenaga penggerak pompa *hydram*.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 -----, 2009, Areal Padi Gadu Lampung Mulai Dilanda Kekeringan. Lebih Cepat.Com. Diakses dari <http://www.lebihcepat.com/nasional/34-berita-nasional/832-areal-padi-gadu-lampung-mulai-dilanda-kekeringan.html>.
 - 2 Saragih, R. S., dan Sinaga, J. B., 2008. Perancangan Model Pompa Tanpa Motor (*Hydraulic Ram Pump*) untuk Irigasi Persawahan di Daerah Pedesaan Propinsi Lampung, Laporan Penelitian Dosen Muda, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
 - 3 Sinaga, J. B., 2010., Pengaruh Panjang Langkah Katup Buang terhadap Unjuk Kerja Model Pompa Tanpa Motor (*Hydrum Pump*), Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Agroindustri Polinela.
 - 4 Tanti, N., dan Sinaga, J. B., 2011., Pengaruh Volume Tabung Udara Terhadap Unjuk Kerja Model Pompa Tanpa Motor (*Hydraulic Ram Pump*), Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi-IV.
 - 5 Taye, T., 1998. Hydraulic Ram Pump, Journal of the Ethiopian society of Mechanical Engineers, Vol. II, No. 1, July 1998.
- Tessema, A. A., 2000. Hydraulic ram pumpSystem Design And Application. ESME 5th Annual Conference on Manufacturing and Process Industry, held at Addis Ababa, Ethiopia , September 2000

Investigasi Reduksi *Particulate Matter* Emisi Gas Buang Motor Diesel dengan Metode Penerapan Spray Air Laut

Agung Sudrajad, Dr.Eng
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten
Jl. Raya Jakarta – Merak KM 3 , Cilegon Banten
goenkobe@yahoo.com , a_sudrajad@ft-untirta.ac.id

ABSTRAK

The after combustion or exhaust by the internal combustion engines, especially by compression ignition (CI) engines produces a complex mixture of pollutants that comprises both primary emissions, such as diesel soot particles, lead and sulfate particles formed from the burning of sulphur-containing fuel. The aim of this project is to measure reduction of diesel particulate matter (DPM) by diesel engine experiment using seawater spray and to utilize natural seawater. The diesel engine experiment was conducted with YANMAR TF120M single cylinder four stroke direct injection diesel engine set-up at variable engine speed namely at 2400, 2100, 1800, 1500 and 1200 rpm with and without seawater spray. An average of 26.1 % of DPM, 27.8 % of SOF and 19.5 % of DS has been reduced by using the seawater spray system. Overall DPM diameter size distribution able to be reduced.

KEYWORDS : polusi udara, motor diesel, particulate matter (PM), distribusi ukuran, spray air laut

PENDAHULUAN

Polusi udara masih menjadi masalah utama lingkungan di banyak negara berkembang. Polusi udara bukan hanya berdampak buruk pada alam kita tetapi juga terhadap kesehatan tubuh kita. Dengan meningkatnya pemakaian bahan bakar fosil bagi kebutuhan transportasi, industry dan lainnya berakibat domino terhadap peningkatan permasalahan lingkungan terutamanya polusi udara.

Motor pembakaran kompresi yang biasa kita kenal dengan motor diesel menggunakan bahan bakar fosil yang memproduksi energy panas. Banyak kendaraan berat dioperasikan dengan menggunakan motor diesel, karena jenis motor ini dapat menyediakan rasio tenaga-berat yang tinggi atau dengan kata lain dapat menghasilkan torsi yang tinggi dan efisiensi panas yang tinggi pula (Rajan et al, 2009). Motor diesel menggunakan panas kompresi untuk membakar campuran udara dan bahan bakar, yang nantinya akan diinjeksikan ke ruang bakar pada langkah akhir kompresi. Efek negative dari motor diesel adalah menghasilkan gas buang yang dapat merusak lingkungan dan manusia. Gas buang hasil pembakaran dalam ruang bakar menghasilkan campuran emisi yang sangat kompleks dan juga partikel debu yang berakibat buruk pada atmosphere kita.

Umumnya, pada motor bakar dalam menghasilkan empat produk emisi yaitu hidro karbon (HC), karbon monoksida (CO) nitrogen oksida (NO) dan particulate matter (PM). Pada penelitian ini, kami berfokus pada analisa distribusi

ukuran diameter PM dengan menerapkan metode reduksi spray air laut. Gambar dibawah ini menjelaskan kuantitas emisi secara global dibagi

dalam beberapa sector, antara lain: industry, transportasi, pembangkit tenaga, pertanian, pembangunan gedung dan lainnya.

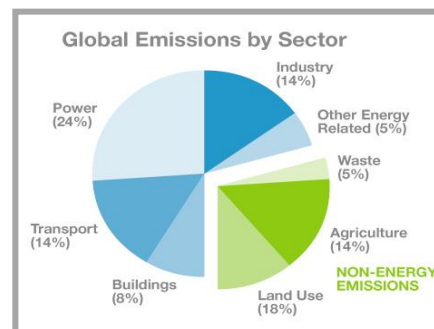


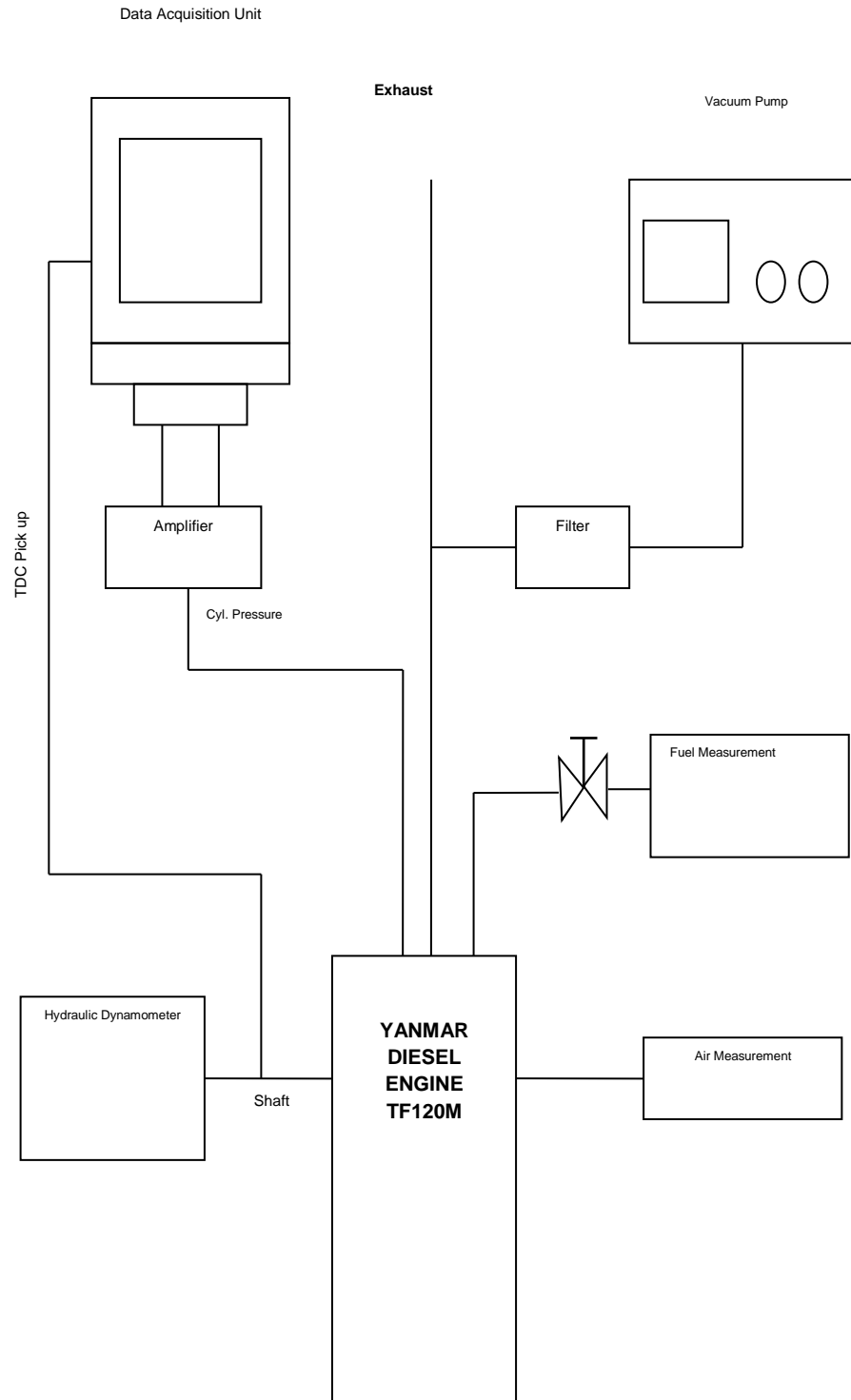
Figure 1: Global emissions by sector

MATERIAL DAN METODA

Tes dilakukan di laboratorium alternative energy dengan menggunakan motor diesel jenis YANMAR TF120M satu silinder dengan pendinginan air. Spesifikasi mesin diesel dapat dilihat dalam Tabel 1. Skematik diagram percobaan tercantum dalam Gambar 2. Eksperimen menggunakan motor diesel empat langkah dengan variasi kecepatan yaitu 2400, 2100, 1800, 1500, dan 1200 rpm dengan pembebanan tetap. Tipe hidraulik dynamometer

digunakan dalam percobaan ini. DPM diambil dari sampling poin yang ada pada pipa gas buang dengan menggunakan pompa vakum dan disimpan dalam filter komposit. Filter yang sudah berisi PM lalu dianalisa dengan menggunakan *Scanning Electronic Microscope* (SEM).

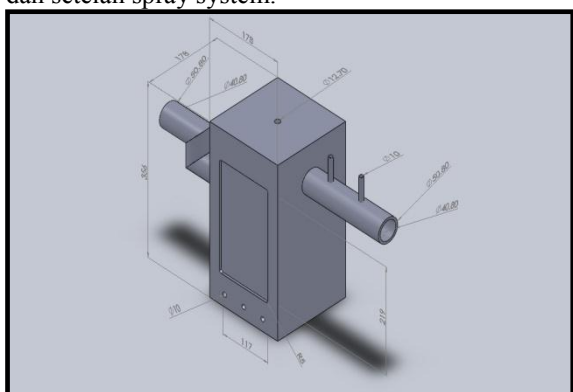
Gambar 2 Diagram Eksperimen



Tabel 1 Spesifikasi motor diesel uji coba

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Engine Type | YANMAR TF120 |
| Number of Cylinder | 1 |
| Bore x stroke (mm) | 92 x 96 |
| Displacement (L) | 0.638 |
| Continuous Output (HP) | 10.5 HP at 2400 rpm |
| Rated output (HP) | 12 HP at 2400 rpm |
| Cooling system | Hopper |
| Dry weight (kg) | 102 |

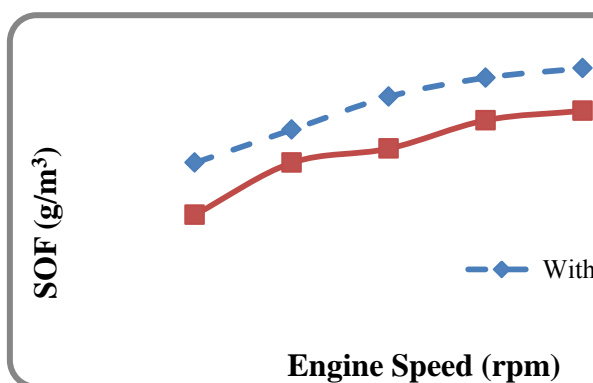
Gambar 3 menjelaskan dimensi system spray air laut yang didesain. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa gas buang dari mesin diesel dialirkan masuk ke dalam tabung yang dilakukan spray dengan air laut dengan debit 5L/menit. Pengukuran PM dilakukan pada sampel sebelum masuk spray system dan setelah spray system.



Gambar 3. Sistem spray air laut

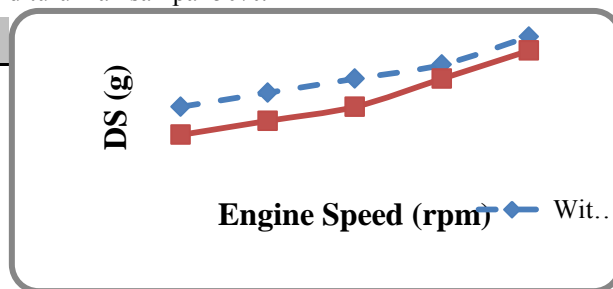
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen disajikan dalam bentuk grafik dan analisa seperti di bawah ini:



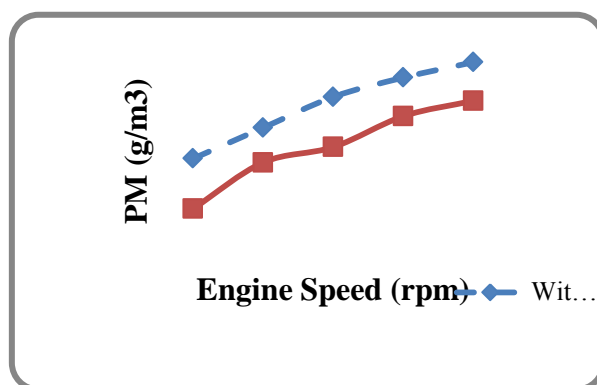
Gambar 4. Kandungan SOF

Gambar 4 menjelaskan hasil eksperimen soluble organic fraction (SOF) vs kecepatan mesin. SOF akan terbentuk dari absorpsi atau kondensasi dari hidro karbon dengan berat molekul pada bagian luar partikel karbon yang terbentuk dari kandungan sulfur bahan bakar dan pembakaran yang tidak sempurna. SOF terdiri dari kandungan aldehid, alkana dan hidrokarbon aliphatik (PAH derivatif). Dari eksperimen didapat bahwa dengan menggunakan spray air laut maka SOF dapat diturunkan sampai 50%.



Gambar 5. Kandungan DS

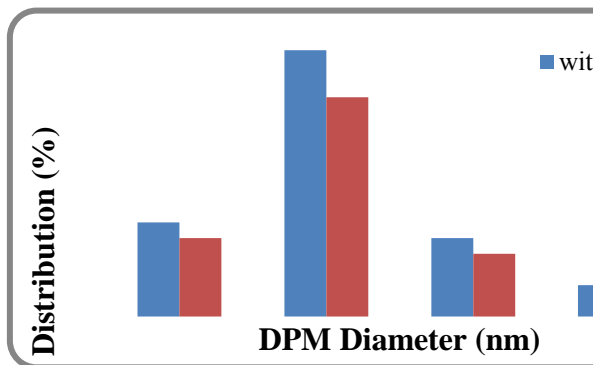
Gambar 5 menggambarkan kandungan DS dengan variasi kecepatan motor diesel. DS terdiri dari kandungan partikel padat yang sangat kecil, sulfat dan metal hasil proses pembakaran. DS juga dapat terbentuk dari kandungan sulphur dalam minyak pelumas yang ikut terbakar dalam proses pembakaran didalam ruang bakar. Dengan menggunakan spray air laut kandungan DS dapat diturunkan rata-rata sebesar 19.5%.



Gambar 6. Kandungan PM

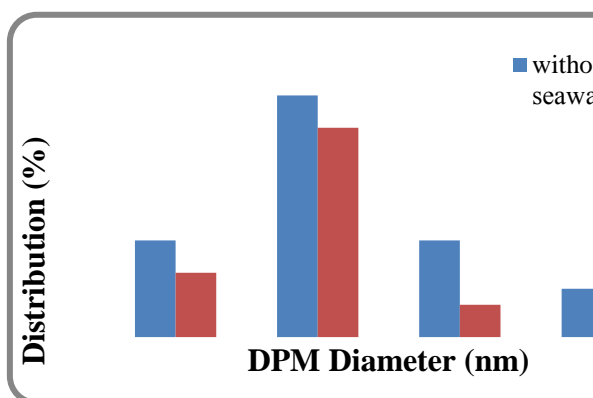
Menurut Dilip et al (2011), PM hasil gas buang motor diesel adalah karbon dasar yang tidak terbakar pada bahan bakar dan pelumas. Kandungan PM dapat terlihat pada Gambar 6 diatas. PM meningkat dengan adanya peningkatan kecepatan motor diesel pada beban tetap. An dan Nishida (2003), menjelaskan bahwa alkalin natural (dengan pH 8.1) dapat mereduksi PM dengan metode kontak seperti

system spray air laut. Penurunan PM dengan diterapkannya spray air laut adalah mencapai 46%.



Gambar 7. Distribusi PM pada putaran mesin 1200 rpm

Prosentase distribusi pada eksperimen motor diesel pada putaran mesin 1200 rpm hasil analisis SEM ditampilkan dalam Gambar 7. Dari gambar tersebut dapat dianalisa bahwa untuk ukuran kisaran 50-100 nm penggunaan spray air laut sangat efektif mengurangi prosentase distribusi PM, ini menjelaskan bahwa untuk ukuran partikel PM yang sangat kecil (baca: sampai kisaran 200 nm) metode ini sangat efektif digunakan. Pengurangan ini dapat berarti positif bagi karakteristik PM, karena semakin kecil ukuran PM maka akan semakin berbahaya efek negatif dari PM tersebut. Kondisi yang sama terjadi pada putaran mesin 2400 rpm yang terlihat dalam Gambar 8. Penurunan prosentase mencapai 70% pada kisaran diameter 151-200 nm.



Gambar 8. Distribusi ukuran PM pada putaran mesin 2400 rpm

KESIMPULAN

Investigasi eksperimen terhadap metode reduksi emisi PM dari motor diesel telah diujicobakan. System spray air laut didesain dengan metode

sirkulasi air laut dengan debit 5L/menit. Air laut di spray pada bagian pipa gas buang motor diesel secara kontinyu. Motor diesel dioperasikan pada kecepatan 1200, 1500, 1800, 2100 dan 2400 rpm dengan beban tetap. Dari eksperimen yang dilakukan didapat hasil konsentrasi PM menurun sehingga 26.1% , SOF dapat direduksi sebanyak 27.8% dan DS dapat direduksi sebanyak 19.5%. Sementara itu ukuran distribusi DPM dapat diturunkan dengan penerapan system spray air laut ini.

REFERENSI

- Ariana, I.M., Fujita, H., Nishida, O., Harano, W. and Kawazoe. 2007. Pollutant reduction of diesel exhaust emissions by electrostatic precipitator with water treatment system. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*. 2(1): 13-18.
- Betha, R. and Balasubramanian, R. 2011. Emissions of particulate-bound elements from stationary diesel engine: Characterization and risk assessment. *Atmospheric Environment*. 45(30): 5273-5281.
- Dilip, K.V., Vasa, N.J., Carsten, K. and Ravindra, K.U. 2010. Incineration of diesel particulate matter using induction heating technique. *Applied Energy*. 88(3): 938-946.
- Gupta, H.N. 2006. *Fundamentals of internal combustion engines*. New Dehli: PHI Learning Private Limited.
- Hammerle, R., Schuetzle, D. and Adams, W. 1994. A perspective on the potential development of environmentally acceptable light-duty diesel vehicles. *Environmental Health Perspectives*. 102(4): 25-30.
- Heywood, J.B. 1988. *Internal combustion engine fundamentals*. USA: McGraw-Hill.
- Hollebeak, B. 2005. *Automotive fuels & emissions classroom manual*. USA: Thomsan Delmar Learning.
- Oh, B.S., Oh, S.G., Jung, Y.J., Hwang, Y.Y., Kang, J.W. and Kim, I.S. 2009. Evaluation of a seawater electrolysis process considering formation of free chlorine and perchlorate. *Desalination and Water Treatment*. 18(2): 245-250.

- Rajan, K. and Senthil Kumar, K.R. 2009. The Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Sunflower Oil Methyl Ester. *International Journal of Chemical Engineering Research*. **1**(1): 31-39.
- Wibawaningrum, R. 2004. Experimental Study on Effect of Sulfur Content in MDO to Exhaust Gas. Bachelor Thesis. University of Kobe, Japan.

Manufaktur Ramah Lingkungan: Suatu Tinjauan Pemesinan Paduan Magnesium Menggunakan Termografi

Yanuar Burhanuddin

Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

Email: yanuar@unila.ac.id

Abstract

Paduan magnesium dipilih untuk aplikasi otomotif menggantikan aluminium, seng, dan plastik untuk mengurangi bobot komponen dan biaya produksi. Kepadatan magnesium hanya 2/3 aluminium dan hanya sedikit tinggi dibanding plastik diperkuat. Dikombinasikan dengan sifat mekanik dan fisik yang bagus juga mempunyai kemampuan proses dan daur ulang yang baik membuat paduan magnesium merupakan bahan yang ramah lingkungan dan pilihan terbaik untuk desain bobot ringan. Magnesium adalah unsur yang berlimpah dan juga pembuat bahan magnesium banyak sehingga memberikan kepastian pasokan bahan baku dan stabilitas harga. Proses produksi sebagaimana produk harus sesuai dengan persyaratan teknologi, ekonomi dan ekonomi yang semakin meningkat. Selain proses pengecoran, pemesinan merupakan proses utama paduan magnesium. Pemesinan biasanya menggunakan cairan pendingin untuk menurunkan temperatur dan mengurangi keausan. Namun cairan pendingin merupakan polutan yang memberikan efek terhadap lingkungan. Untuk menghindari pemakaian cairan pendingin maka digunakan proses pemesinan kering atau hampir kering. Pemesinan magnesium ditandai dengan geram pendek, kualitas permukaan bagus, daya pemotongan rendah, beban mekanik dan termal rendah pada pahat memungkinkan dilakukan pemesinan kering yang ramah lingkungan. Namun di sisi lain pemesinan kering, pada kecepatan tinggi, menimbulkan efek lengket dan gesekan yang tinggi yang dapat memicu geram magnesium terbakar. Penelitian magnesium ini merupakan langkah awal melihat karakteristik pemesinan magnesium dengan pengukuran tanpa sentuh menggunakan termografi

Kata kunci: manufaktur ramah lingkungan, paduan magnesium, pemesinan kering, termograf

Pendahuluan

Dalam ekonomi yang sedang berkembang peningkatan produksi akan menghasilkan banyak kerusakan lingkungan bila kebijakan lingkungan tidak tepat. Seiring dengan peningkatan ekonomi, timbul pula gerakan manufaktur ramah lingkungan yang menyorotkan masalah perlunya mempertahankan kemajuan ekonomi tetapi tanpa merusak lingkungan.

Perusahaan manufaktur harus beroperasi membuat barang yang dikehendaki pengguna dengan cara yang hemat agar dapat mempertahankan pasar dan memperoleh keuntungan untuk pemegang saham namun juga memperhatikan keselamatan lingkungan.

Masalah dasar dalam manufaktur ramah lingkungan adalah menyesuaikan tuntutan bisnis dengan tuntutan lingkungan. Ini adalah tantangan bagi perusahaan manufaktur untuk memikirkan faktor-faktor ekonomi dan lingkungan ke dalam

rencana usaha.

Manufaktur Ramah Lingkungan

Proses manufaktur merupakan tahapan yang paling penting pada rantai produk dalam hal dampak lingkungan. Oleh karena itu pembahasan mengenai produksi bersih atau manufaktur ramah lingkungan adalah tidak lain membahas proses produksi.

Manufaktur ramah lingkungan adalah produksi barang-barang menggunakan proses dan teknik terpilih yang layak secara ekonomi namun kurang dampaknya pada lingkungan. Ada tiga kriteria dalam pemilihan proses yaitu:

- Minim limbah
- Minim penggunaan bahan berbahaya
- Minim penggunaan energi

Limbah adalah sumber daya yang dikeluarkan namun tidak menjadi produk. Limbah antara lain

emisi, geram pemesinan, cairan pendingin, jam-jam yang dihabiskan untuk menunggu. Barang-barang yang menunggu proses berikut di daerah sangga, waktu yang terbuang ketika mesin rusak dan lain-lain. Memang terjadi timbal balik antara proses yang ekonomis dengan jumlah limbah yang dihasilkan.

Pemesinan Sadar Lingkungan

Sejak permulaan abad ke-20 ketika F.W. Taylor pertama kali menggunakan air untuk mendinginkan proses pemesinan dan memperpanjang umur pahat, berbagai cairan pendingin telah digunakan untuk tujuan tersebut. Akan tetapi dalam sepuluh tahun terakhir banyak usaha yang dilakukan untuk membatasi penggunaan cairan pendingin dalam produksi karena biaya, masalah lingkungan dan kesehatan manusia (Klocke dkk, 1997).

Pada tahun 1992, volume minyak yang dapat larut yang dibuang dari Industri Jerman sekitar 60% dari keseluruhan volume pelumas yang digunakan pada proses manufaktur. Ini merepresentasikan sekitar 7,5% sampai 17% dari biaya manufaktur per komponen, yang lebih tinggi dari biaya perkakas dikeluarkan (Klocke dkk, 1997).

Untuk meminimalkan penggunaan cairan pemotongan, dua teknik telah dikaji dengan intensif yaitu pemotongan tanpa cairan pendingin (pemotongan kering) dan pemotongan dengan cairan kuantitas minim (MQL/Minimum Quantity of Lubricant) dimana sejumlah cairan yang sangat sedikit dikabutkan dalam aliran udara bertekanan.

Pemesinan Kering

Pemesinan Kering adalah proses pemesinan dengan menghindari pemakaian pelumas atau memilih pelumas dengan volume yang minim. Sekarang ini minat dalam pengurangan atau menghilangkan penggunaan cairan pendingin dalam pemesinan semakin meningkat. Pemesinan kering diinginkan secara ekologi dan akan menjadi keharusan bagi perusahaan manufaktur di tahun-tahun mendatang (Sreejith dan Ngoi, 2000).

Ada dua alasan mengapa minat tersebut meningkat:

- Mengurangi atau menghilangkan terbukanya operator terhadap resiko-resiko kesehatan seperti keracunan, sakit kulit, gangguan pernafasan dan infeksi mikroba.
- Mengurangi biaya pemesinan. Sebuah kajian yang dilakukan sebuah perusahaan otomotif

menunjukkan bahwa 16% biaya komponen yang dimesin secara langsung disebabkan oleh cairan pendingin (Graham, 2000).

Beberapa bahan sudah dikerjakan tanpa cairan pendingin seperti besi cor dan aluminium. Namun hal tersebut bisa dikerjakan bila menggunakan pahat yang tepat ataupun pahat yang sangat keras seperti intan. Pemesinan kering akan bertambah sukar pada pemesinan kecepatan tinggi. Pemesinan kecepatan tinggi dilakukan untuk menaikkan produktifitas melalui kenaikan kecepatan pembuangan geram. Tanpa cairan pendingin sukar untuk membersihkan geram, mengendalikan dimensi oleh karena pemanasan dan pencegahan BUE (Stephenson dan Agapiou, 2006).

Pada pemesinan kering fungsi pendingin-pelumas harus disubstitusikan. Misalnya dengan memilih pahat yang mempunyai lapisan (*coating*) berasal dari bahan yang mampu melumas sendiri (*self-lubricating*) (Straffellini dan Gariboldi, 2007). Atau dengan mengalirkan udara dingin bertekanan pada daerah pemotongan. (*cold air-cooling*).

Penggunaan pemesinan kering memerlukan pemakaian bahan pahat keramik dan bahan ultra-keras. Sifat-sifat bahan-bahan tersebut mempunyai tingkat kualitas yang sesuai untuk kondisi pemesinan kering. Keuntungan menggunakan pemesinan kering adalah geram tetap bersih sehingga mudah untuk dibersihkan dan diproses kembali. (K. Weinert dkk, 2004)

Pemesinan Hampir Kering (MQL)

Pemesinan Hampir Kering didefinisikan sebagai pemberian cairan pendingin pada kecepatan aliran yang optimal, kuantitas yang cairan sangat sedikit disemprotkan ke daerah pemotongan secara langsung.

Beberapa kelebihan Pemesinan Hampir Kering adalah:

- Mengurangi pemakaian cairan pendingin
- Mengurangi biaya bila dibandingkan dengan pemakaian cairan pendingin genang
- Mengurangi resiko kesehatan
- Peluang untuk memakai cairan yang lebih ramah lingkungan

Bila MQF digunakan, uap, kabut dan asap oli dipandang sebagai produk sampingan yang tidak dikehendaki karena menyebabkan peningkatan polusi udara. Ini menuntut adanya sistem pengeluaran uadra yang efisien yang menjamin pengendalian polusi udara.

Pemesinan Magnesium

Ada dua perhatian utama dalam pemesinan magnesium yaitu resiko kebakaran dan pembentukan Built-up Edge (BUE). Magnesium terbakar jika dipanaskan sampai suhu lelehnya. Dalam pemesinan magnesium, api sangat mungkin terjadi jika geram tipis atau halus dengan perbandingan luas permukaan-terhadap-volume yang tinggi dihasilkan dan dibiarkan menumpuk. Sumber penyalaan mungkin juga pemanasan gesekan disebabkan pahat tumpul, rusak, diasah secara salah atau dibiarkan berhenti sebentar pada akhir pemotongan.

Untuk meminimumkan resiko kebakaran, praktek-praktek berikut harus diperhatikan:

- Pahat yang tajam dengan sudut relief sebesar mungkin.
- Kecepatan makan yang besar harus digunakan.
- Secepatnya pahat dijauhkan dari benda kerja jika pemotongan berakhir
- Geram-geram harus sering dikumpulkan dan dibuang.
- Menggunakan pendingin yang tepat pada pemesinan kecepatan makan dan kedalaman potong sangat kecil.

Karena geram magnesium bereaksi dengan air dan membentuk magnesium hidroksida dan gas hidrogen bebas, pendingin berbasis air harus dihindarkan. Praktek yang diterima adalah pemotongan kering bila mungkin dan menggunakan pendingin minyak mineral bila perlu. Pemesinan kering komponen magnesium dalam volume besar menimbulkan masalah pemeliharaan kebersihan terutama untuk proses gurdi dan pengetapan yang menghasilkan geram halus.

Sekarang ini pendingin berbasis air yang menghasilkan sedikit hidrogen ketika bereaksi dengan magnesium telah digunakan dalam produksi. Dilaporkan juga pendingin ini dapat meningkatkan umur pahat dan mengurangi resiko kebakaran dibandingkan pemesinan kering. Namun masalah pembuangan limbah cairan pendingin tetap menjadi masalah. Bila dibuang begitu saja jelas dapat mencemari lingkungan. Sebaliknya bila limbah diolah sebelum dibuang jelas akan memerlukan biaya yang cukup besar (Dow Chemical, 1982).

Pembentukan BUE diamati ketika pemesinan kering paduan magnesium-aluminium cor dengan pahat Baja Kecepatan Tinggi (HSS) atau Karbida. Pembentukan BUE dapat dikurangi atau dihilangkan dengan pemakaian pendingin minyak mineral atau penggantian dengan pahat intan. Jelas pemakaian

pendingin minyak mineral akan mencemari lingkungan sedangkan pemakaian pahat intan akan menaikkan biaya produksi (Tonnessen dkk, 1992).

Pemesinan Paduan Magnesium Menggunakan Termografi

Kajian ini adalah untuk mengetahui karakteristik suhu pengapian magnesium pada pemesinan kecepatan tinggi dalam keadaan kering.

Peralatan

Percobaan pemotongan dilakukan pada mesin bubut Pinachio dengan menggunakan pahat khusus. Untuk pengakuisisian data suhu pemotongan dan citra geram pada pemesinan magnesium menggunakan teknik termograf maka digunakan peralatan sebagai berikut kamera infrared SECAM dengan filter cahaya infra merah, USB TV, termometer digital, termokopel tipe-K dan laptop

Kondisi Pemotongan

Untuk mendapatkan data yang baik maka sebelum melakukan pengambilan data suhu pemotongan maka terlebih dahulu dilakukan penentuan kondisi pemotongan. Penentuan kondisi pemotongan dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Denkena dan Lukas (2007), Ozsváth et al. (2008), de Pipaón et al. (2006). Memang pada penelitian-penelitian tersebut kecepatan potong masih tergolong rendah (low-speed). Agar mudah membuat perbandingan dengan penelitian sebelumnya (baseline) maka beberapa nilai kondisi pemotongan digunakan pada penelitian ini. Kondisi pemotongan untuk penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

- Kecepatan potong (m/min): 75, 100, 150, 250 dan 400.
- Gerak makan (mm/rev): 0,05; 0,10 dan 0,15.
- Kedalaman potong (mm): 0,25 (konstan)

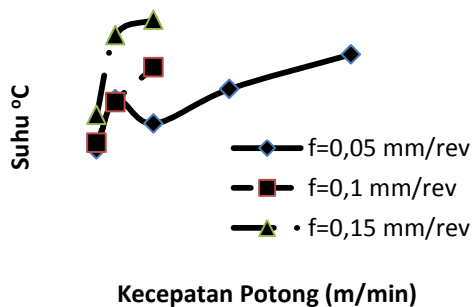


Gambar 1 Set-up peralatan eksperimen pemesinan magnesium (1) mesin bubut, (2) magnesium, (3) kamera CCD-IR, (4) termometer dijital, (5) termometer dijital, (6) video adapter, (7) notebook

Suhu Pemotongan Magnesium

Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termokopel yang dipasang pada ujung pahat. Hasil pengukuran suhu Gambar 1. Gambar 1 memperlihatkan bahwa kenaikan suhu pemotongan berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan potong dan gerak makan. Namun kecepatan potong lebih signifikan terhadap kenaikan suhu pemesinan dibandingkan gerak makan.

Pada gerak makan 0,05 mm/rev dan kecepatan makan 410 m/min suhu pemotongan maksimum yang dihasilkan adalah 376°C. Pada gerak makan 0,1 mm/rev dan kecepatan potong 150 m/min suhu pemotongan yang terjadi adalah 353°C. Sedangkan pada gerak makan 0,15 mm/rev dan kecepatan potong 150 m/min suhu pemotongan maksimum adalah 430 °C. Berarti suhu pemotongan yang dihasilkan masih di bawah suhu yang menyebabkan geram magnesium terbakar (sekitar 520 430 °C). dePipaon dkk (2006) menyebutkan bahwa kecepatan pemotongan sekitar 200-300 m/min dapat membuat geram magnesium menyala dan terbakar namun dengan tebal geram yang sangat tipis..



Gambar 2 Plot Kecepatan Potong terhadap suhu geram/pemotongan

Pemetaan Warna Suhu Pahat dan Geram

Pengukuran secara tidak langsung adalah dengan mengambil citra inframerah melalui kamera. Penelitian sudah mendapatkan citra-citra inframerah yang disimpan dalam bentuk JPG Citra ini kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak yang dapat mengkonversikan dan memetakan distribusi suhu pada pahat maupun geram. Kemudian hasilnya dikalibrasikan dan dibandingkan dengan suhu terukur termokopel.

Visualisasi suhu dalam bentuk warna menunjukkan distribusi suhu sesuai dengan tinggi-rendah suhu. Pada penelitian ini proses pengkonversian beberapa kondisi pemotongan berhasil dilakukan. Untuk indikasi suhu terhadap warna dilakukan pengukuran suhu pada beberapa titik.

Visualisasi suhu dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Visualisasi suhu diambil menggunakan kamera yang memakai filter dan yang tidak memakai filter. Tabel 1 memperlihatkan pemetaan citra suhu pada pahat potong dan geram dengan kamera tanpa filter. Sedangkan Tabel 2 memperlihatkan citra suhu pada pahat dan benda kerja dengan kamera berfilter.

Secara umum citra-citra dalam tabel-tabel tersebut memperlihatkan warna benda kerja dan pahat menjadi kemerahan disebabkan suhu bertambah naik. Dari segi visualisasi warna terhadap suhu, tidak ada perbedaan yang terlihat menyolok pada kedua cara tersebut. Namun dengan menggunakan kamera berfilter, akan lebih mudah membedakan objek yang sedang bergerak (berputar) dengan yang diam. Objek yang sedang berputar/bergerak warna menjadi lebih samar.

Kemudian yang dapat kita lihat dari citra-citra suhu tersebut adalah pada daerah pahat-geram-benda kerja warna menjadi lebih memerah seperti yang ditunjukkan dengan lingkaran garis putus-putus pada Tabel 1. Berarti pada kawasan tersebut merupakan konsentrasi peningkatan suhu.

KESIMPULAN

1. Tuntutan terhadap manufaktur bersih semakin meningkat, memaksa perusahaan manufaktur untuk memikirkan faktor-faktor ekonomi dan lingkungan ke dalam rencana produksinya.
2. Salah satu tindakan untuk membuat manufaktur lebih bersih adalah dengan menghindari pemakaian pelumas dan cairan pendingin pada proses pemesinan (pemesinan kering)
3. Pemesinan kering sangat tepat dilakukan pada pemesinan magnesium karena cairan akan membuat geram magnesium lebih mudah

- terbakar dan uap hidrogen akan menyebabkan gangguan kesehatan.
4. Sistem akuisisi data suhu pemesinan telah dirancang untuk menangkap citra suhu dan menampilkan distribusi suhu pada pahat, geram dan benda kerja.
 5. Pemakaian termograf inframerah dapat menangkap citra suhu geram magnesium. Namun suhu pada citra inframerah harus dikonversikan dengan suhu termokopel yang terkalibrasi. Suhu geram berkisar antara 211 – 430 °C.
 6. Kenaikan kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong akan menaikkan suhu pemesinan. Ini terlihat dari warna merah yang ditunjukkan oleh citra suhu. Suhu maksimum yang ditunjukkan *colorbar* pada citra suhu Sedangkan biru merupakan warna bagi suhu minimum.
- G. Straffelini, E. Gariboldi. Sliding behaviour of hard and self-lubricating PVD coatings against a Mg-alloy. *Wear* 263 (2007) 1341–1346.

DAFTAR PUSTAKA

- D.A. Stephenson, J.S. Agapiou. *Metal Cutting Theory and Practice*, 2ed. Taylor & Francis, Boca Raton, 2006.
- E.M. Trent P.K. Wright, *Metal Cutting*, fourth ed., Butterworth-Heinemann, London, 2000
- P.S. Sreejith, B.K.A. Ngoi. Dry machining: machining of the future. *J. Mater. Processing Technology* 101 (2000) 287-291.
- F. Klocke, G. Eisenblatter. Dry Cutting. *Annals of the CIRP Vol.46/2/1997*
- K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland & T. Wakabayashi. Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. *Annals CIRP Vol. 53/2*, 2004, 511-537.
- D. Dudzinski, A. Devillez, A. Moufki, D. Larrouque`re, V. Zerrouki and J. Vigneau, A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) 439–456.
- A. Spicer, J. Kasi, C. Billups dan J. Pajec. Machining magnesium with water-based coolants. *SAE Technical Papers* (1991)
- K. Tonnesen, N. Tomac dan F.O. Rasch. Machining magnesium alloys with use of oil-water emulsions. *8th Int. Colloquium, Tribology 2000* (1992).

Tabel 1 Citra temperatur pemotongan dan geram dengan kamera tanpa filter pada berbagai kondisi pemotongan

| Ko ndi si Pe mo ton gan | Pra pemoton gan | Awal Pemesina n | Pertenga han Pemesina n | Akhir Pemesina n |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|
| v=1 50 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,2 5 m m | | | | |
| v=2 70 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,2 5 m m | | | | |
| v=4 10 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,2 5 m m | | | | |

Tabel 2 Citra temperatur pemotongan dan geram dengan kamera berfilter pada berbagai kondisi pemotongan

| Ko ndi si Pe mo ton gan | Pra pemoton gan | Awal Pemesina n | Pertenga han Pemesina n | Akhir Pemesina n |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|
| v=1 50 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,25 m m | | | | |
| v=2 70 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,25 m m | | | | |
| v=4 10 m/ mi n, f=0 ,05 m m/r ev, d=0,25 m m | | | | |

Kaji Eksperimen untuk Distribusi Tegangan Geser Lapisan Adesif pada Sambungan Pipa Komposit

Jamiatul Akmal¹, IGN Wiratmaja Puj², Rochim Suratman², I Wayan Suweca²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung, kandidat doktor pada FTMD ITB

²Staf pengajar pada FTMD ITB
Jl. Ganesha 10 Bandung

¹E-mail: jamiatulakmal@yahoo.com, jamiatulakmal@gmail.com,

Abstract

Adhesive joint is commonly used in composite pipe connection. The problem is still frequent failure, failures usually starts from the edges and propagate to the center. This is due to uneven stress distribution and stress concentration at the edge of the connection. To further believe that, in this study carried out experimental studies to measure the stress. Measuring instrument consists of strain gauge and data acquisition system. Strain gauge mounted in the direction of principal stress in the eight-point testing. Of the five specimens measured showed the same trend when compared with the theoretical analysis. Nevertheless there are differences in the measurement of the theoretical results, especially for the specimen-2 with an error of 17% and for specimen-5 with an error of 20%.

Keywords: Composite pipe, adhesive joint, torque, experimental study, strain gauge,

Pendahuluan

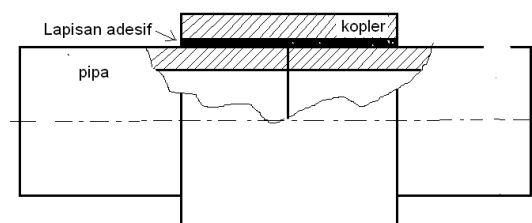
Bahan komposit seperti resin termoset yang diperkuat dengan serat *fiberglass* telah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam sistem perpipaan. Hal ini adalah sebagai respon apabila penggunaan pipa baja akan menimbulkan korosi yang sulit dikendalikan. Saat ini pipa komposit telah dipakai dalam berbagai bidang seperti dalam industri kimia, industri pulp dan kertas, industri minyak/gas lepas pantai dan aplikasi lainnya (G.P. Zou dan F. Taheri, 2006).

Selain anti korosi, pipa komposit lebih ringan dan bisa lebih kuat jika arah serat dirancang optimal sesuai dengan orientasi tegangan prinsipal. Sebagai contoh, untuk pipa yang terbuat dari epoxy dan serat gelas dengan kandungan serat sekitar 60%, memiliki kekuatan longitudinal sebesar 1020 MPa, suatu angka yang lebih tinggi (268%) dari kekuatan baja, misalnya baja 1021, yang hanya 380 MPa. Pipa komposit ini memiliki densitas 2,1 gr/cm³, hanya sekitar 31% dari densitas baja 7,8 gr/cm³ (W.D. Callister, 1999)

Hanya saja masih ada beberapa kelemahan yang ada pada pipa komposit, salah satunya yang menjadi perhatian pada makalah ini adalah metode penyambungannya yang belum bisa diandalkan (G.P. Zou dan F. Taheri, 2006).

Salah satu jenis sambungan yang biasa dipakai untuk pipa komposit adalah sambungan adesif.

Dengan sambungan adesif, proses pemasangan pipa akan menjadi lebih fleksibel dan *customize* jika dibandingkan dengan sambungan jenis lain (seperti *screw joint* dan *key-lock join*). Sambungan adesif terdiri dari dua pipa *overlapping* yang disatukan oleh zat perekat yang disebut lapisan adesif seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Sambungan adesif pada pipa

Pada studi eksperimen yang dilakukan oleh J. A. Peck, dkk. (2007) terlihat bahwa kegagalan pipa terjadi di sekitar zat perekat dan dimulai dari bagian pinggir sambungan dan terus merambat ke bagian tengah, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Fenomena ini mendorong para peneliti mengembangkan hipotesa bahwa zat perekat, untuk selanjutnya disebut lapisan adesif, dianggap bagian terlemah dari sambungan. Hipotesa ini juga didasarkan pada kenyataan bahwa lapisan adesif biasanya terbuat dari resin tanpa serat sehingga lebih lunak dan lemah jika dibandingkan dengan material pipa (Zou, G.P. dkk. 2006)



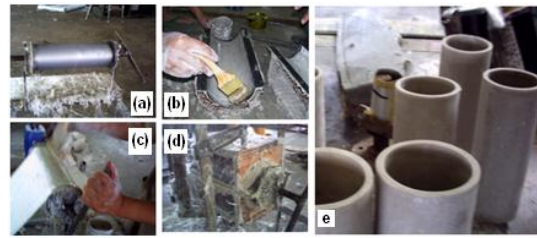
Gambar 2 Kegagalan sambungan dimulai dari bagian pinggir dan terus merambat ke bagian tengah (Peck J. A. dkk. (2007))

Diantara para peneliti pun memfokuskan kajian terhadap lapisan adesif, misalnya Yang, C. dkk. (2002) dan Cheng, J. dkk. (2007) mengamati distribusi tegangannya jika sambungan mendapat beban lentur. Terungkap suatu permasalahan bahwa adanya konsentrasi tegangan yang tinggi pada bagian pinggir sambungan. Demikian juga halnya jika sambungan mendapat beban aksial, sebagaimana yang dilakukan oleh Griffin, S.A. dkk. (1991), Yang, C. (2000), Cheng, J. dkk. (2006) dan Lees, J. M. (2006). Untuk sambungan yang mendapat beban torsi, penelitian dilakukan oleh Chen, D. dkk. (1991), Zou, G.P. dkk. (2006), Cheng, J. dkk. (2008) dan Ouyang, Z. (2009), yang juga menunjukkan permasalahan yang sama. Untuk meyakini dan memvalidasi teori-teori yang telah disampaikan oleh peneliti sebelumnya, pada makalah ini disampaikan hasil studi secara eksperimental..

Pelaksanaan Eksperimental

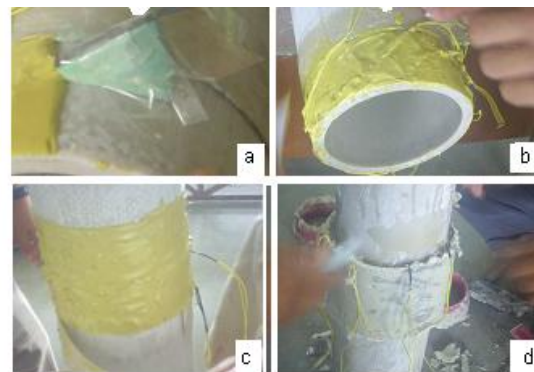
Kaji eksperimental dimulai dari persiapan dan pembuatan spesimen. Spesimen pipa komposit dibuat secara manual dari bahan resin *polyester* yang diperkuat dengan anyaman serat *fiberglass*. Peralatan utama yang dipakai sebagai cetakan adalah sebuah silinder sebagai *mandral*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3(a) dan cetakan luar berupa permukaan dalam dari sebuah silinder yang lebih besar seperti yang ditampilkan pada Gambar 3(b). Anyaman serat dipasang melingkar pada *mandral* sambil dibasahi dengan resin seperti yang ditampilkan pada Gambar 3(c). Setelah mendapatkan ketebalan yang diinginkan, cetakan luar dipasang dan ditekan seperti yang terlihat pada Gambar 3(d).

Anyaman serat yang disebut *woven* tersusun saling tegak lurus dengan posisi sudut $90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$. Anyaman *woven* dipotong sedemikian rupa, sehingga serat yang terpasang pada pipa juga memiliki arah $90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ dari sumbu pipa. Gambar 5(e) memperlihatkan hasil produksi spesimen pipa komposit.



Gambar 3 Proses pembuatan specimen pipa

Selanjutnya dilakukan proses penyambungan spesimen. *Strain gauge* dipasang terintegrasi dengan lapisan adesif yang berbentuk pasta, dengan bantuan mal pengarah sudut, seperti yang terlihat pada Gambar 4(a). Selanjutnya pasta adesif diratakan dengan bantuan mal pengatur ketebalan untuk mendapatkan ketebalan 1.4 mm, seperti terlihat pada Gambar 4(b). Gambar 4(c) dan Gambar 4(d) menunjukkan proses penyambungan selanjutnya.

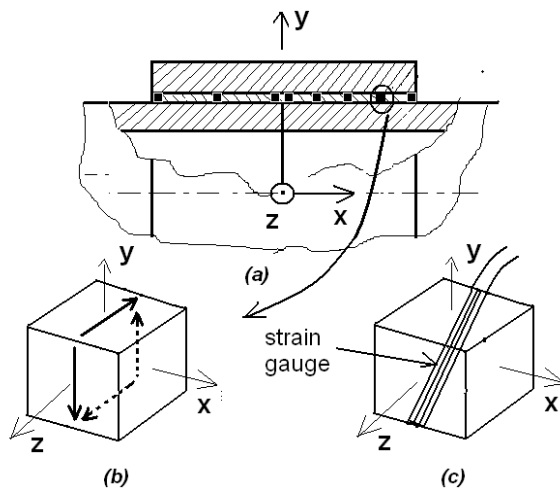


Gambar 4 Proses penyambungan specimen

Alat ukur dan metode pengukuran.

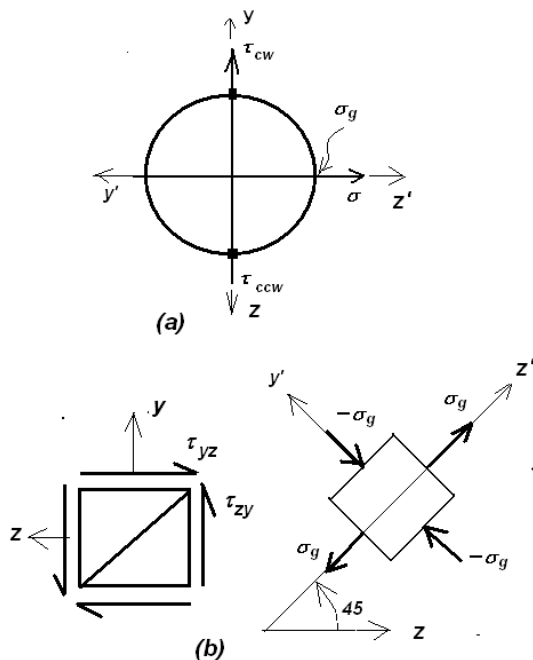
Alat ukur dibutuhkan untuk mengukur distribusi tegangan geser tangensial pada lapisan adesif. Sensor yang digunakan adalah *straingauge* dengan ukuran panjang 2 mm. Agar sensor ini bekerja dengan optimal, penempatannya harus searah dengan tegangan principal yang terjadi.

Untuk spesimen yang mendapat beban puntir seperti yang terlihat pada Gambar 5(a), tegangan geser yang terjadi adalah seperti yang terlihat pada Gambar 5(b). Gambar 5(c) memperlihatkan posisi *straingauge* yang dipasang miring 45° pada diagonal bidang *yz*.



Gambar 5 (a) Posisi pemasangan alat ukur di sepanjang lapisan adesif.
 (b) Keadaan tegangan pada lapisan adesif
 (c) Posisi pemasangan *strain gauge*

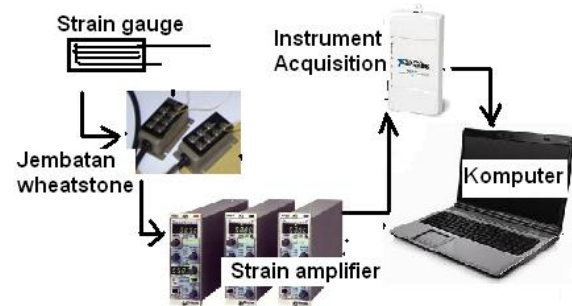
Dengan bantuan diagram lingkaran Mohr yang terlihat pada Gambar 6(a) dapat diketahui bahwa tegangan principal terjadi searah sumbu- z' , sebagai mana yang terlihat pada Gambar 6(b). Berdasarkan diagram lingkaran Mohr juga diketahui bahwa besarnya tegangan principal yang terukur (σ_g) sama dengan tegangan geser tangensial τ_{xy} .



Gambar 6 (a) Diagram Lingkaran Mohr
 (b) Tegangan principal pada posisi 45°

Tegangan diketahui berdasarkan regangan yang dibaca dengan *strain-gauge*. Untuk mengetahui

regangan yang terjadi, sensor dilengkapi dengan alat-alat: jembatan *wheatstone*, *strain amplifier*, alat akuisisi data dan komputer. Alat-alat tersebut dipasang dengan skema seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Peralatan akuisisi data

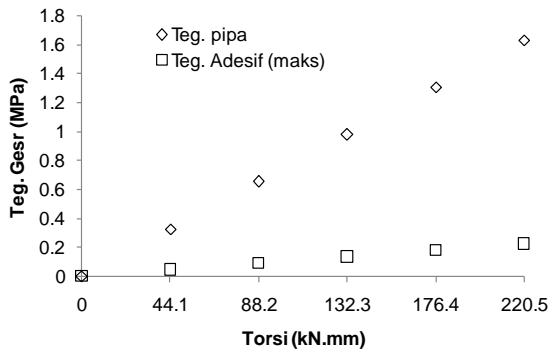
Pengujian dilakukan dengan memberikan momen puntir secara bertahap sampai maksimum 220.5 kN.mm. Gambar 8 memperlihatkan peralatan pengujian, dimana torsi diberikan melalui sebuah tuas yang didorong oleh dongkrak hidrolik pada salah satu ujungnya.



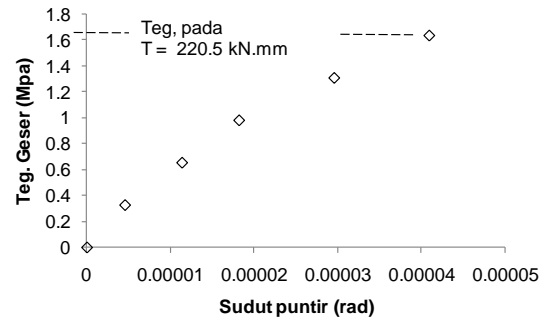
Gambar 8 Alat uji puntir untuk sambungan pipa komposit

Untuk menampilkan distribusi tegangan, baik secara teoritik maupun secara numerik, perlu diketahui nilai elastisitas adesif dan elastisitas pipa yang harus dihitung pada kondisi pembebanan yang sama. Gambar 9 memperlihatkan perbandingan tegangan yang terjadi pada adesif dan pipa. Tegangan pada adesif dihitung dengan Persamaan sebagaimana yang disampaikan oleh (Z. Ouyang & G. Li, 2009), sedangkan tegangan pada pipa dihitung dengan Persamaan (1), dimana τ = tegangan geser pada pipa, T adalah besarnya torsi yang diberikan, r adalah jari-jari permukaan pipa dan J adalah momen inersia polar pipa.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (1)$$



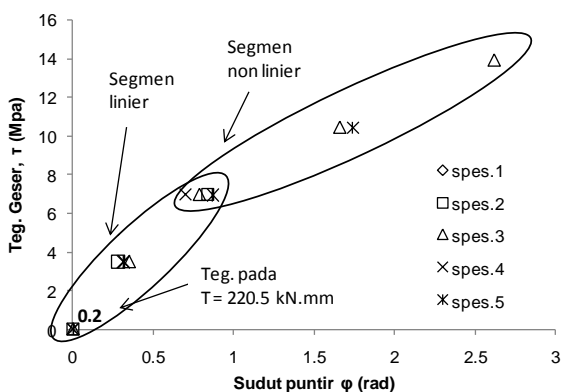
Gambar 9 Perbandingan tegangan adesif dan tegangan pipa



Gambar 11 Kurva tegangan-regangan material pipa

Sebagai contoh kasus, untuk pembebanan torsi $T=220.5$ kN.mm, tegangan geser yang terjadi pada adesif hanya sekitar 0.22 MPa, sedangkan tegangan geser pada pipa adalah sekitar 1.63 MPa. Berdasarkan hasil pengujian puntir terhadap material adesif, tegangan 0.22 MPa tersebut dapat dianggap berada di garis linier pada kurva tegangan-regangan yang diperoleh, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada kondisi ini nilai elastisitas adesif, $G_a \approx 300$ MPa. Berbeda dengan material adesif, tegangan sebesar 1.63 MPa dianggap berada di garis non linier pada kurva tegangan regangan, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada kondisi ini nilai elastisitas pipa, $E_p = 8735$ MPa. Kedua nilai elastisitas tersebut dihitung dengan persamaan (2)

$$G = \frac{T \cdot L}{J \cdot \phi} \quad (2)$$



Gambar 10 Kurva tegangan-regangan material adesif

Gambar 12 memperlihatkan proses pengujian puntir terhadap material adesif dan Gambar 13 memperlihatkan spesimen yang telah diuji sampai mengalami kegagalan. Dari pengujian ini dapat diketahui nilai torsi (T) yang diberikan dan simpangan sudut (ϕ) yang terjadi.



Gambar 12 Pengujian torsi untuk material adesif



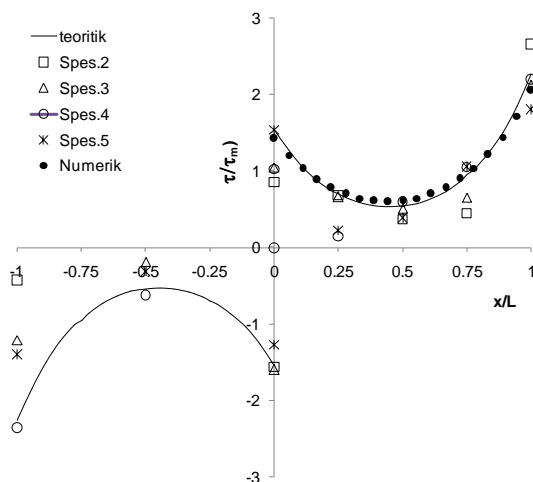
Gambar 13 Spesimen material adesif

Pada pengujian pipa, torsi (T) diukur melalui gaya yang diberikan di ujung tuas dan simpangan sudut (ϕ) diukur melalui pergeseran dua cincin yang di pasang *dial-gauge*, sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 14



Gambar 14 Pengujian torsi terhadap pipa

Distribusi tegangan yang terjadi disepanjang lapisan adesif adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 15. Tegangan yang terjadi dinormalisasi dengan tegangan rata-rata. Terlihat bahwa distribusi tegangan secara eksperimen memiliki kecenderungan yang sama dengan teoritik (Z. Ouyang & G. Li, 2009) dan numerik (J. Akmal, dkk, 2011).



Gambar 15 Distribusi tegangan geser disepanjang lapisan adesif: perbandingan eksperimen dengan teoritik (Z. Ouyang & G. Li, 2009), dan numerik (J. Akmal, dkk.,2011)

Meskipun demikian terdapat perbedaan-perbedaan dalam pembacaan hasil pengukuran. Khusus di bagian pinggir sambungan, pada posisi $x/L = 1$, perbedaan yang besar terjadi untuk spesimen 2 dengan nilai 17 % dan spesimen 5 dengan nilai 20%.

Kesimpulan

1. Studi eksperimental yang dilakukan telah memperkuat hipotesa bahwa distribusi tegangan pada lapisan adesif tidak merata, tetapi terkonsentrasi di pinggir sambungan.
2. Distribusi tegangan secara eksperimental memiliki kecenderungan yang sama dengan analisa teoritis dan numerik, meski

terdapat kesalahan pembacaan pada beberapa spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

1. G.P. Zou dan F. Taheri, Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading, *International Journal of Solids and Structures*, 43, 5953–5968, 2006.
2. W. D. Callister, *Material Science and Engineering*, 5th edition, John Willey & Sons. Inc., 1999
3. S.A. Griffin, S.S. Pang, & C. Yang. (1991), Strength Model of Adhesive Bonded Composite Pipe Joint under Tension, *Polymer Engineering And Science, Mid-April 1991, Vol. 31, No. 7*
4. J. A. Peck, R. A. Jones, S. S. Pang, G. Li, & B. H. Smith, UV-cured FRP joint thickness effect on coupled composite pipes, *Composite Structures* 80, 290–297(2007)
5. C. Yang, Design and analysis of composite pipe joint under tensile loading, *Journal of Composite Materials*, Vol.34, No.04/2000
6. C. Yang, Stress Model of Composite Pipe Joints under Bending, *Journal of COMPOSITE MATERIALS*, Vol. 36, No. 11/2002
7. J. M. Lees, Behaviour of GFRP adhesive pipe joint subjected to pressure and axial loadings, *Composites: Part A* 37 (2006) 1171–1179
8. J. Cheng dan G. Li, Stress analyses of a smart composite pipe joint integrated with piezoelectric composite layers under torsion loading, *International Journal of Solids and Structures* 45, 1153–1178, 2008.
9. D. Chen & S. Cheng, (1991), Torsional Stress in Tubular Lap Joint, *Int. J. Solids Structures*, Vol. 29, No. 7, 845-853, 1992
10. Z. Ouyang & G. Li, Cohesive zone model based analytical solutions for adhesively bonded pipe joints under torsional loading, *International Journal of Solids and Structures*, 46, 1205–1217, 2009.
11. J. Akmal, IGN W. Puja, S. S. Brodjonegoro, R. Suratman, I. W. Suweca: “Newly Designed Adhesive Joint for Torque Loaded Tube” *International Journal of Key Engineering Materials Vols. 462-463* (2011) pp 7-12 © (2011) Trans Tech Publications, Switzerland
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.462-463.7 ,ISSN 978-0-87849-210-7.

Pemanfaatan Serabut Kelapa sebagai Reinforcement pada Pembuatan Rem Komposit

Agus Triono^{1,2)}, IGN Wiratmaja Puja¹⁾, Satryo S. Brodjonegoro¹⁾, Ridho Ezello¹⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

Telp. (022)2500979, Fax. (022)2516361

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Slamet Riyadi no. 62 Jember, Jawa Timur, Indonesia

Telp. (0331) 410243

E-mail: agustriono3@gmail.com

Abstract

The use of railway brake blocks made from composite materials developed to replace brake blocks made of metal. Composite brake blocks have the advantages of a longer service life, lighter brake blocks, and cheaper price. However, composite brake blocks have not been able to completely replace the role of metallic brake blocks. A major weakness of composite brake blocks is a larger coefficient of friction compared to metallic brake blocks. The materials that used in the manufacture of composite brake one of them is a reinforcement material. Materials commonly used in this case is fiber glass. In this study coconut fiber is used to substituted of fibre glass. Composition of coconut fibers that used is between 2-3% of the total weight of 130 grams. Sample to be tested in this study is bending, press and shear with a size 100 mm x 15 mm x 10 mm for bending tests, 25 mm x 12.5 mm x 12.5 mm for the crush test and 25 mm x 12.5 mm x 12, 5 mm for friction test. From the test, composition of coconut fibers that suite for the criteria for composite brake is 2.6%.

Keywords:brakes, composite, reinforcement, fibers, coconut

Pendahuluan

Kereta api bergerak dengan energi kinetik dan momentum yang besar, sehingga dibutuhkan jarak dan waktu yang cukup dalam melakukan pengereman. Pengereman yang dilakukan secara mendadak dapat mengakibatkan *skidding* pada kereta. Untuk itu proses pengereman serta jenis rem yang digunakan menjadi sangat penting. Jenis rem yang digunakan dalam pengoperasian kereta terdiri atas dua jenis yaitu rem metalik dan rem komposit. Rem komposit jika dibandingkan dengan rem metalik memiliki beberapa kelebihan diantaranya usia pakai yang lebih panjang yaitu dari 1 bulan menjadi 3 bulan, massa blok rem yang lebih ringan yaitu dari 11 kg menjadi 2,7 kg sehingga lebih mudah dipasang, supaya tidak dicuri, karena bahan metalik memiliki nilai sisa atau dapat dijual kembali sedangkan komposit tidak dapat dijual lagi, tingkat keausan yang lebih rendah, dan pada pemakaiannya tidak menimbulkan percikan api sehingga aman digunakan untuk kereta pengangkut batubara dan bahan bakar lainnya. Selain itu harga blok rem komposit jauh lebih murah jika dibandingkan dengan blok rem metalik.

Gambar 1 memperlihatkan kereta api di Indonesia yang sedang melintas di daerah pegunungan.



Gambar 1. Kereta Api Indonesia

Pada gambar 2 terlihat salah satu jenis blok rem komposit serta posisi pemasangan pada roda kereta. Proses pemasangan yang kurang sesuai akan berpengaruh pada performansi blok rem.

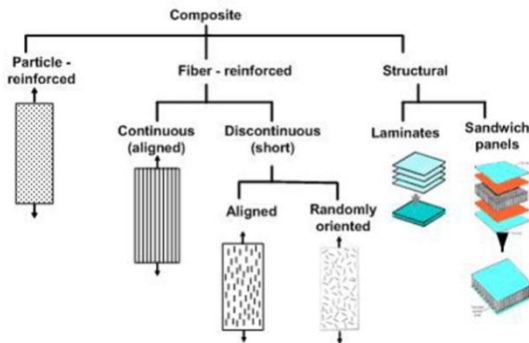


Gambar 2 Blok rem kereta api (a) dan posisi pemasangan (b).

Salah satu komponen utama dalam pembuatan blok rem komposit adalah serat penguat yang biasanya terbuat dari fiber glass. Pada penelitian ini serat alternatif dicoba untuk digunakan sebagai pengganti fiber glass. Serat yang digunakan adalah serat alami yaitu serabut kelapa.

Studi Pustaka

Klasifikasi Komposit



Gambar 3. Klasifikasi komposit menurut strukturnya

Penggunaan material gesek dari komposit ditujukan untuk memperbaiki beberapa sifat dari material non komposit. Beberapa sifat yang diharapkan dari sebuah material gesek terutama rem antara lain adalah:

- Koefisien gesek yang stabil dalam berbagai kondisi lingkungan (basah dan kering).
- Kestabilan koefisien gesek pada temperatur tinggi.
- Ketahanan terhadap temperatur tinggi.
- Laju keausan yang rendah dan menghindari keausan pasangan material geseknya misalnya roda kereta api.
- Daya rekat yang baik pada material penumpunya (*backing plate*).
- Ketahanan terhadap korosi.
- Dapat kontak dengan baik dengan pasangan material geseknya.
- Kemudahan dan keunggulan ekonomis dalam skala produksi massal.
- Ketersediaan dan kemudahan akses terhadap sumber bahan baku.
- Keamanan terhadap kesehatan manusia baik dalam proses pembuatan maupun saat penggunaan.

Pengembangan material gesek rem kereta api dititikberatkan pada penggunaan material komposit non-asbestos. Pada beberapa tahun mendatang penggunaan material asbestos akan dilarang penggunaannya di Indonesia karena dampak negatif material tersebut terhadap kesehatan. Pertimbangan kesehatan dan keamanan bagi manusia menjadi pertimbangan pemilihan material penyusun rem komposit.

Menurut Nicholson (1990), Hebert Froot mengembangkan material untuk rem pertama kalinya menggunakan material *cotton-based*. Penemuannya mengawali didirikannya perusahaan rem *Ferodo Company* hingga sekarang.

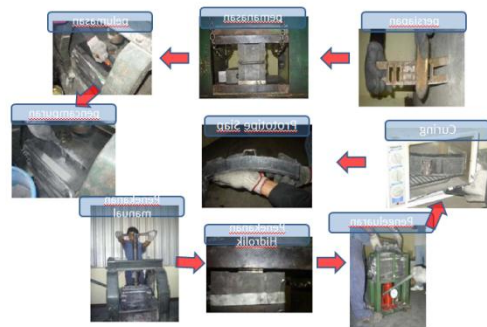
Untuk aplikasi rem, material penyusun rem komposit pada dasarnya dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya menjadi komponen dasar penyusun blok rem yaitu (Nicholson, 1990):

- Material Abrasif
- *Friction Modifier*
- Material Pengikat (*binder*)
- Penguat (*reinforcement*)
- Material Pengisi (*filler*)

Selain itu, beberapa bahan tambahan dapat dimasukkan ke dalam lebih satu fungsi di atas. Hal ini disebabkan penambahan suatu bahan tambahan untuk mencapai karakteristik yang diharapkan, akan mempengaruhi fungsi lain (Nicholson, 1990). Sebagai contoh adalah penggunaan resin sebagai material pengikat (*binder*) juga akan mempengaruhi koefisien gesek rem.

Pengembangan Proses Produksi Blok Rem Komposit

Proses produksi yang dilakukan untuk memproduksi blok rem komposit baik skala *prototype* maupun spesimen adalah *Hot Press Molding*^[18]. Bahan penyusun blok rem dimasukan kedalam cetakan yang sudah dipanaskan dengan heater sampai temperature tertentu lalu ditekan dengan mesin press pada tekanan tertentu. Setelah itu dilakukan proses curing yaitu pemanasan spesimen atau *prototype* yang baru diproduksi dengan memakai oven. Secara lengkap proses produksi blok rem komposit ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4 Proses produksi blok rem komposit kereta api.

Penentuan temperatur dan tekanan yang diberikan merupakan parameter proses produksi yang bisa mempengaruhi sifat blok rem yang dihasilkan. Lama waktu penekanan juga menjadi parameter yang bisa memvariasikan hasil pengujian blok rem komposit^[16]. Ketiga parameter akan menjadi spesifikasi proses produksi. Pada tahun 2008, Stanley Sujudi telah melakukan penelitian

terhadap beberapa parameter proses produksi ini. Empat jenis beban penekanan divariasikan dari 7,5 – 15 ton. Empat temperatur penekanan divariasikan dari 120°C – 180°C. tiga waktu penekanan divariasikan dari 20 – 40 menit.

Pengujian Mekanik Material Komposit Partikulat

Pengujian Tekan

Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan dari material uji^[19]. Pengujian ini dilakukan dengan cara pemberian beban tekan kepada material uji hingga material tersebut hancur (Gambar 2.21). Dengan cara ini maka nilai tegangan tekan maksimum (*crush strength*) yang dialami spesimen dapat diketahui. Pengujian mengacu pada standar ASTM D695.



Gambar 5 Spesimen yang sedang diuji tekan

Pengujian Bending

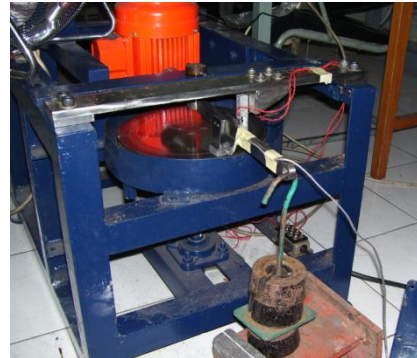
Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur^[20] dari spesimen rem blok komposit. Pengujian yang dilakukan dengan menumpu spesimen pada dua titik serta memberikan beban pada bagian tengah spesimen. Metode ini dikenal dengan sebutan *three point bending* (Gambar 2.22). Tegangan maksimum saat spesimen patah adalah nilai kekuatan lentur atau *cross breaking strength*. Pengujian disesuaikan dengan standar ASTM D790.



Gambar 6 Spesimen yang sedang diuji *bending*

Pengujian Gesek

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui koefisien gesek kinetik^[21] dari spesimen blok rem komposit. Nilai koefisien gesek sangat berpengaruh terhadap parameter dalam pengereman seperti jarak pengereman, waktu pengereman, kapasitas pengereman, dan lain lain.



Gambar 7 Alat pengujian gesek

Gambar 7 diatas menunjukan alat pengujian koefisien gesek yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan pada skala laboratorium atau skala spesimen dengan cara blok rem komposit dipotong dan diambil sampel spesimen yang kemudian dilakukan uji gesek pada spesimen tersebut. Teknik pengujian seperti ini mengacu pada standar ASTM D3702.

Pembuatan Spesimen

Tahapan yang dilakukan dalam proses pembuatan spesimen rem komposit adalah sebagai berikut :

1. Tahap persiapan alat produksi dan bahan-bahan penyusun



Gambar 8. Persiapan bahan komposit

2. Tahap *screening*



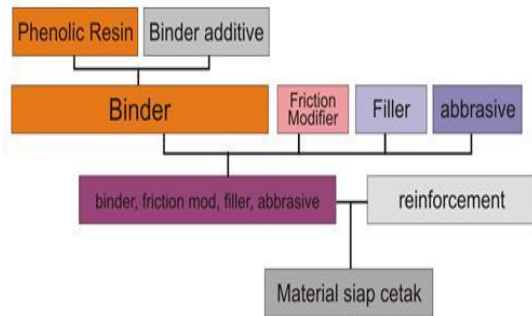
Gambar 9. Proses pengayakan (*screening*)

3. Tahap *scaling*



Gambar 10. Scaling

4. Tahap *mixing*



Gambar 11 Diagram alir urutan pencampuran material komposit



Gambar 12 Pencampuran bahan menggunakan *mixer*

5. Tahap Pembuatan Spesimen



Gambar 13. Spesimen yang sudah dicetak

Tabel 1. Data dimensi spesimen

| Spesimen | Panjang | Lebar | Tebal |
|----------|---------|--------|----------|
| R1 | 1260 mm | 360 mm | 11,55 mm |
| R2 | 1260 mm | 360 mm | 12,55 mm |
| R3 | 1260 mm | 360 mm | 12,15 mm |
| R4 | 1260 mm | 360 mm | 12,60 mm |
| R5 | 1260 mm | 360 mm | 12,65 mm |
| R6 | 1260 mm | 360 mm | 13,10 mm |
| R7 | 1260 mm | 360 mm | 13,05 mm |

Pengujian dan Analisis

Tabel 2. Hasil pengujian densitas

| Spesimen | Panjang mm | Lebar mm | Tinggi mm | Volume mm ³ | Berat gr | Densitas gr/cm ³ |
|----------|------------|----------|-----------|------------------------|----------|-----------------------------|
| R1 | 24.95 | 25.25 | 10.50 | 6614.869 | 14 | 2.12 |
| R2 | 25.25 | 24.55 | 10.25 | 6353.847 | 15 | 2.36 |
| R3 | 25.05 | 25.25 | 10.45 | 6609.756 | 15 | 2.27 |
| R4 | 25.50 | 24.95 | 10.35 | 6584.929 | 16 | 2.43 |
| R5 | 25.05 | 25.25 | 10.35 | 6546.504 | 16 | 2.44 |
| R6 | 25.25 | 24.95 | 10.35 | 6520.371 | 14 | 2.15 |
| R7 | 25.45 | 25.05 | 10.45 | 6662.110 | 15 | 2.25 |

Spesifikasi teknik untuk densitas blok rem kereta api adalah 1,8 – 2,4 g/cm³. Dari hasil pengukuran densitas bisa dilihat, untuk spesimen R4 dan R5 tidak masuk dalam *range* spesifikasi.

Tabel 3. Hasil pengujian gesek

| Spesimen | Koefisien Gesek |
|----------|-----------------|
| R1 | 0,18 |
| R2 | 0,23 |
| R3 | 0,20 |
| R4 | 0,27 |
| R5 | 0,19 |
| R6 | 0,21 |
| R7 | 0,18 |

Spesifikasi teknik untuk koefisien gesek adalah 0,16-0,22. Dari ketujuh spesimen yang dibuat, spesimen R1, R3, R5, R6 dan R7 memenuhi spesifikasi. Spesimen R2 melebihi batas atas 0,22 akan tetapi masih mendekati spesifikasi dengan kelebihan kurang dari 5%, sedangkan spesimen R4 jauh melebihi batas atas

Tabel 4. Hasil pengujian tekan

| Spesimen | Tebal | Lebar | Panjang | Gaya Tekan | Crush Strength |
|----------|-------|-------|---------|------------|-------------------|
| | cm | cm | cm | N | N/cm ² |
| R1 | 1.05 | 1.23 | 2.55 | 10700 | 8324.58 |
| R2 | 1.19 | 1.25 | 2.54 | 8900 | 6032.57 |
| R3 | 1.22 | 1.18 | 2.54 | 12100 | 8440.88 |
| R4 | 1.22 | 1.27 | 2.51 | 11100 | 7193.55 |
| R5 | 1.17 | 1.22 | 2.54 | 9100 | 6401.46 |
| R6 | 1.23 | 1.26 | 2.55 | 11700 | 7549.36 |
| R7 | 1.20 | 1.22 | 2.53 | 8400 | 5761.32 |

Hasil pengujian menunjukkan spesimen R7 memiliki nilai tegangan maksimum paling rendah yaitu 5761 N/cm², dan spesimen R3 memiliki nilai tegangan maksimum paling tinggi, yaitu 8441 N/cm².

Tabel 5. Hasil pengujian bending

| Spesimen | Lebar | Tebal | Tumpuan | I | Gaya Tekan | Cross Breaking Strength (N/cm ²) |
|----------|-------|-------|---------|--------|------------|--|
| | cm | cm | cm | | | |
| R1 | 1.05 | 1.51 | 8 | 0.3018 | 700 | 3506.45 |
| R2 | 1.07 | 1.51 | 8 | 0.3060 | 650 | 3207.10 |
| R3 | 1.04 | 1.54 | 8 | 0.3140 | 880 | 4302.48 |
| R4 | 1.03 | 1.55 | 8 | 0.3186 | 420 | 2038.90 |
| R5 | 1.05 | 1.51 | 8 | 0.3018 | 400 | 2005.65 |
| R6 | 1.04 | 1.51 | 8 | 0.2984 | 350 | 1771.18 |
| R7 | 1.05 | 1.53 | 8 | 0.3108 | 1000 | 4906.41 |

Spesifikasi teknik untuk kekuatan *bending* blok rem komposit kereta api adalah 2400-4000 N/cm². Hasil pengujian menunjukkan hanya ada dua

spesimen yang memenuhi spesifikasi, yaitu spesimen R1 dan R2. Spesimen yang lain ada yang kurang dari spesifikasi juga ada yang melebihi. Spesimen R7 memiliki nilai *cross breaking strength* yang paling besar yaitu 4906 N/cm². Tapi nilai ini sedikit melebihi batas atas spesifikasi blok rem komposit. Hal ini akan berpengaruh pada keausan roda kereta.

Tabel 6. Hasil pengujian ketahanan panas

| Spesimen | Densitas | Koefisien Gesek | Crush Strength | Cross Breaking Strength | Ketahanan Panas | |
|----------------------------|-----------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | | | | | 250°C | 500°C |
| R1 | 2.12 | 0,18 | 8325 | 3506 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R2 | 2.36 | 0,23 | 6033 | 3207 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R3 | 2.27 | 0,20 | 8441 | 4302 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R4 | 2.43 | 0,27 | 7194 | 3034 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R5 | 2.44 | 0,19 | 6401 | 3004 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R6 | 2.15 | 0,21 | 7549 | 3771 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| R7 | 2.25 | 0,18 | 5761 | 4906 | baik | tidak terbakar dan menyala |
| SPESIFIKASI ²³⁾ | 1,8 - 2,4 | 0,14-0,22 | MIN 2500 | 2400 - 4000 | | tidak terbakar dan menyala di 500°C |

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa serabut kelapa dapat digunakan sebagai pengganti fiberglass sebagai bahan penyusun blok rem komposit untuk kereta api. Akan tetapi penelitian ini masih harus ditindaklanjuti dalam skala sebenarnya agar fenomena dan beban *real* yang diterima oleh blok rem dapat diketahui.

Daftar Pustaka

Suryadi, A. ,2009,*Blok Rem Komposit Kereta Api Made in Indonesia*.
Suardana, P. L. ,2007,“*Analisis Arah dan Perlakuan Serat Tapis serta Rasio Epoxy Hardener terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy*”,*Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol.1 No.1* , 1-2..

G. Nicholson, *Facts about Friction*. P&W Price Enterprises, Inc, 1995.
Callister, W.D., *Materials Science and Engineering: an Introduction*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997.
Tri Nugraha Setianto,2008,*Pengembangan Desain dan Material Penyusun Blok Rem Komposit Kereta Api Menggunakan Bahan Alami*, Tugas Akhir, ITB Bandung.
Stanley Sujudi,2008, *Pengembangan Komposisi dan Prototype Blok Rem Komposit Kereta Api Berbahan Serat Alami*, Tugas Akhir, ITB Bandung.
Vincent, 2008, *Studi Pengembangan Parameter Proses Produksi Blok Rem Kereta Api Berbahan Komposit*, Tugas Akhir, ITB Bandung
Robert Simbolon, 2009, *Pengembangan Material Blok Rem Komposit dengan Menggunakan Bahan Alami*, Tugas Akhir, ITB Bandung
ASTM D695 – *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*: ASTM International.
ASTM D790 – *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material*: ASTM International.
ASTM D3702 – *Standard Test Method for Wear Rate and Coefficient of Friction of Materials*: ASTM International.
Ashby, Michael F., *Materials Selection in Mechanical Design: Second Edition*,England: Department of Engineering, Cambridge University, 1999.
PT. Kereta Api, ”*Laporan Pengujian Blok Rem Komposit*”Februari2010.
Dieter, George, *Mechanical Metallurgy*, Singapore: McGraw-Hill, 2000.

Mechanical Properties of Coconut Shell Particles Reinforced Polyester Composite

Shirley Savetlana, Berthoni Chandra

Mechanical Engineering Department, University of Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Indonesia, 35145
(0721)3555519, (0721)704947
E-mail: shirley@unila.ac.id

Abstract

The coconut shell particle reinforced polyester composite was produced using a simple technique called hand lay-up. Tensile and flexural tests were carried out to investigate the mechanical properties of the composite. To maintain a low cost, the composite was produced without compatibilizer. The result shows that the tensile and flexural strength increases with the particle loading. The elastic modulus and the strain at failure are high at a certain particle loading. The scanning electron micrograph shows adequate compatibility between particle and polyester matrix. This compatibility is attributed to the strength of the polyester/CS composite.

Keywords: Composites, Polyester, Hand lay-up, Coconut Shell Particle, Natural Composite

Composite reinforced by natural particle exhibited adequate strength with low cost, low density, renewable and environmental friendly. Some example of natural particles that have been used to reinforced composite were wood flour (Srekala, 2003), cordenka (Katsoulotos, 2008), Rice Hull (Tay, 2010) and micro crystalline celulosa (Alireza, 2010).

Particle is considered as reinforcement in composite beside reinforcement by the fibre. For well-bonded fibre and matrix, the applied stress is effectively transferred from matrix to the particle. The limitation of thermoset resin is a low resistance to crack growth. Natural particle can enhance the toughness of that resin and others mechanical property.

Size of the particle affects the mechanical properties of the composite. There is a critical size of particle that the magnitude of this critical size depends on the matrix, particle and the matrix/particle adhesion. The strength of composite increased as the size of the particle decreases because small particle has a large surface area. The strength of the composite particle mostly depend on the stress transfer from matrix to particle therefore the compatibility between matrix and particle is highly affected the strength (Shao-Yun Fu, 2008).

Compatibility is very important issue in composites. Man-made cellulose, Cordenka is partly replaced with jute in PP matrix. Addition of jute with compatibilizer enhances the tensile properties but do not give significant effect on the impact property. Less Pull out is suspected as a causes of low impact strength (Katsoulotos, 2008).

The strain at fracture for the rice hull reinforced PP composite shows the increase in tensile stress and strain at fracture. However the addition of copolymer decreases the elastic modulus of that composite (Tay, 2010).

The impact behavior of Wood Flour (WF) reinforced polyol from tung oil and polyurethane increases with the WF content (Srekala, 2003).

Composite reinforced with wood particle and *microcrystalline Cellulose* (MC) used *polypropylene-graft-maleic anhydride* (PP-g-MA) as *compatibilizer*. The result shows that the tensile strength, flexural and impact strength are higher than the pure PP and composite without MC (Alireza, 2010).

Hybrid bamboo and precipitated calcium carbonate (PCC) fillers reinforced a recycled polypropylene/polyethylene composite. Compounding the PCC particles with the plastic resin helped separate and disperse them in the matrix. The tensile and flexural moduli of this composite were improved with the increase of PCC content (Birm June Kim, 2012).

In this paper, the natural particle from the agriculture waste i.e. coconut shell particle is used to reinforce polyester. To maintain the lower cost of these natural composite, the compatibilizer is not used. The composite is prepared using hand lay-up technique. The mechanical properties are analyzed by conducting the tensile and flexural tests.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The matrix was unsaturated polyester resin, Yukalac 157 BQTN-EX. The specific gravity of cured polyester is 1.215 at 25°C and the viscosity number is 4.5-5.0 poise. The polymer matrix was received in liquid form (Anonim, 2008). The catalyst for the resin was Metil etil keton and peroksida (MEXPO). The coconut husk was a waste of coconut industry. The particles were extracted from the coconut shell (CS) by skin of the shell and sieving the particle. The coconut shell usually consists of 26% cellulose, 29.4% lignin, pentose 27.7%, water 8% and ash 0.6% (DOE Fuel, 2008). The CS particles went through ASTM C136 sieving and result in particle size of 0.425-0.595 μm . The CS particle was immersed in the NaOH aqueous solution 5% by weight for 2 hours, washed with distilled water and then drying for 72 hours at room temperature.

Preparation of the Composite

The loadings of the CS fiber were 10%, 15%, 20%. The resin was manually mixed with the filler. Then the 1% catalyst was added into the mixture. The mixture was then poured into the glass mould which is already layer by the mirror glaze for releasing the composite after it dry. The load then introduce into the mould to give the pressure on the composite. After 8 hours, the composite was taking out from the mould and store in the furnace for curing at 60°C for 4 hours. Cured composite was then cut into tensile and bending specimen.

Tensile and Flexural Test

Tensile and flexural tests were conducted to evaluate the mechanical properties of the composites. The tensile and flexural tests were carried out using the Universal material tester machine series of WP 310. The tests were carried out at room temperature. The tensile test and flexural test were carried out according to ASTM D3039 and ASTM D790-92 standard, respectively. Scanning micrograph of the composite was carried out using SEM Philips XL-20.

Result and discussion

Morphology of CS Particle

The particles from coconut shell are widely varied in size. The variation in size is due to the extraction method of CS particle. The diameter of the particle is around 50-500 μm . The extraction of the coconut shell by skinning other than grinding is

chosen to maintain the strength of the CS particle. The skinning causes the particle to be twine and some of the particle is agglomerate as shown in Figure 1. The agglomeration of the particle tends to decrease the strength of the composite since the transfers of the load to the fiber become inadequate.

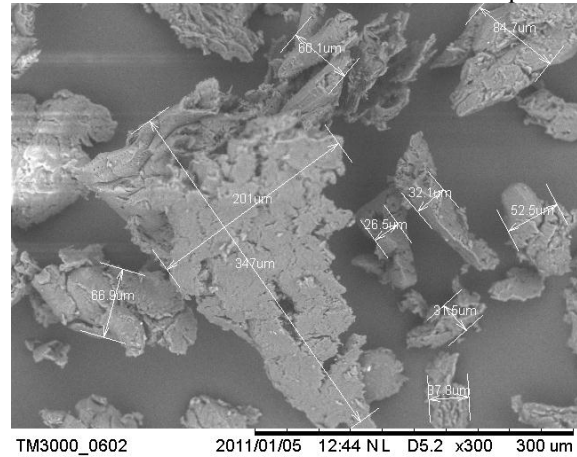


Fig.1 Morphology of CS Particle

Mechanical Properties of Composite

The elastic modulus of Polyester/CS composites is increases as shown in Fig.2. In the range of a given weight fraction of CS particle, the elastic modulus increases with the addition of CS particle until it reaches the optimum value at 15% fiber loading.

For both composites, the increasing of elastic modulus is due to a rise of the constraint of the matrix yielding by the filler. The elastic modulus is measured at relative low deformation. Hence other factors that affects the composite properties e.g. the interface adhesion, does not affect the elastic modulus.

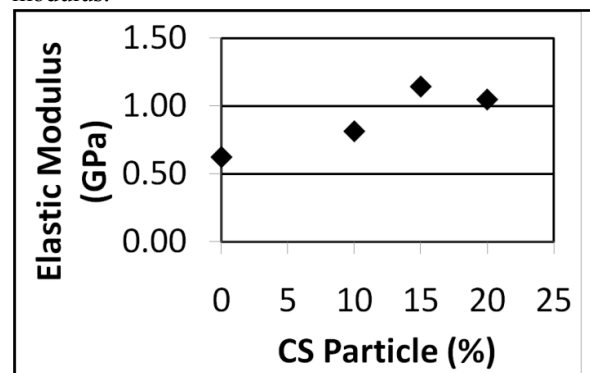


Fig.2 Elastic Modulus as a Function of CS Particle

In Fig.3, the tensile strength of Polyester/CS composite is increases gradually with the filler loading. In polyester/CS composite, the hard CS particle act as a barrier for matrix yielding and crack

growth, result in higher composite tensile strength. However, the enhancement is not high enough since the filler size is quite large. The particle size up to a few microns gives an optimum reinforcement on polymer composite (Shao-Yun Fu, 2008). The other factor is the interfacial adhesion between matrix and particle, observation from SEM micrograph shows an adequate compatibility as shown in Figs. 6-9. It indicates with minimum gap between matrix and the fillers.

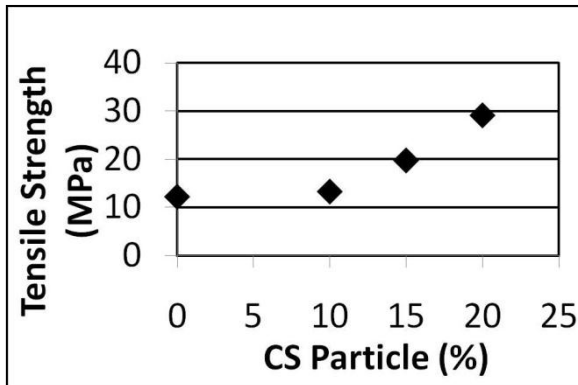


Fig.3 Tensile Strength as a Function of CS Particle

The strain at failure slightly increases only at high particle loading of 20% as shown in Fig.4. It seems that the CS particles less affected the failure strain.

The flexural strength increases significantly with the CS particle content as can be seen in Fig. 5. The flexural strength is higher than the tensile strength. Composite is not a homogeneous material although in some case, random composite is considered as one. Under tensile loading, all part of the specimen is at the same stress hence the specimen will fail at its weakest part. Under flexural loading, the maximum stress is controlled by the intact part of the specimen. Therefore if the intact part is the strongest part i.e. the load is sustained by the particle, then the flexural strength is high. It is well known that the flexural strength is sensitive to the surface defect.

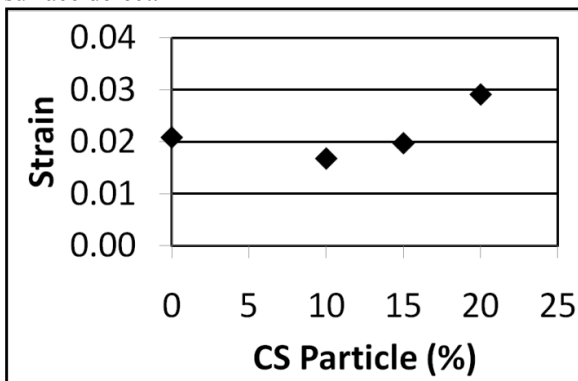


Fig.4 Strain at Failure as a Function of CS Particle

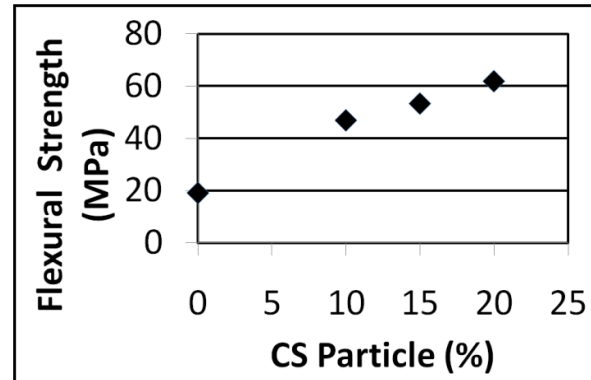


Fig.5 Flexural Strength as a Function of CS Particle

From the scanning electron micrograph in Figs. 6-8, as the particle content increases, there is more reinforcement to the composite by the particle. As a result, the tensile and flexural strength of composite are increases. Figure 9 shows the SEM image of fracture of tensile specimen. The fracture surface is similar with the flexural specimen.

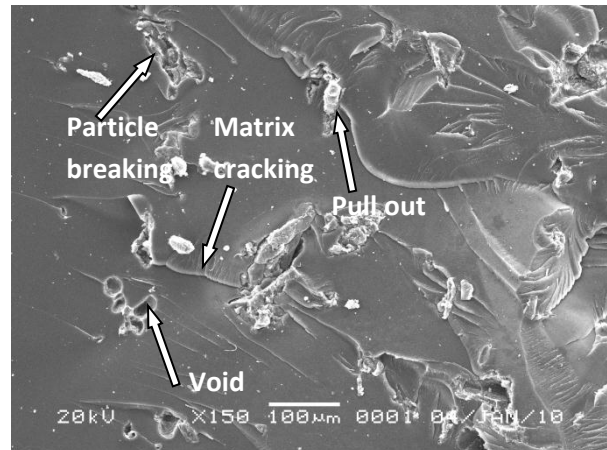


Fig.6 Fracture under Flexural Loading of Polyester/10%CS Particle Composite

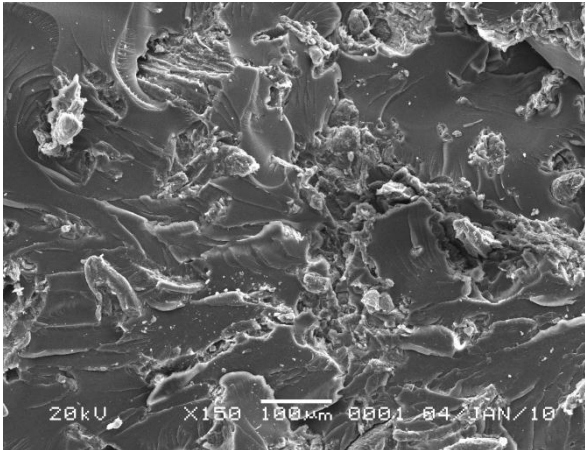


Fig.7 Fracture under Flexural Loading of Polyester/15%CS Particle Composite

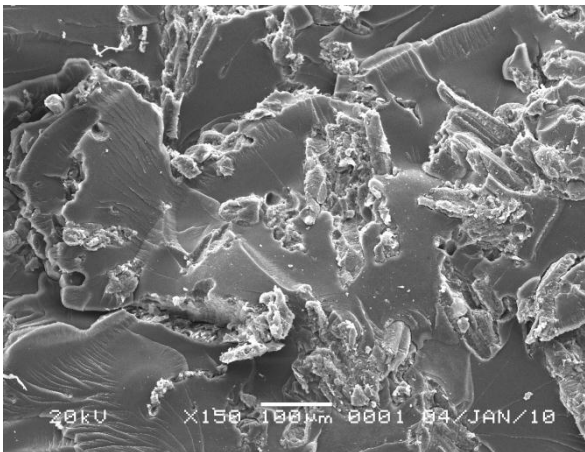


Fig.8 Fracture under Flexural Loading of Polyester/20%CS Particle Composite

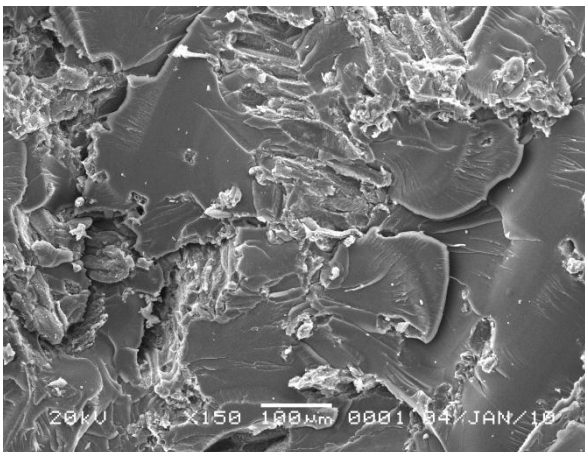


Figure 9 Fracture under Tensile Loading of Polyester/15%CS Particle Composite

The coconut shell reinforced polyester matrix was prepared using hand lay-up technique. Incorporation of CS particle to the polyester matrix shows an increase in tensile strength and flexural strength of polyester/CS composite. Elastic modulus and strain at failure increased at certain loading of particle. The strain at failure slightly increases at high loading.

The interface adhesion without compatibilizer was sufficiently to transfer stress. This was exhibited in increasing of mechanical properties as compare with the pure PP.

This composite has a potential use in the future as reinforcement because of its adequate strength.

REFERENCES

- Alireza Ashori, Amir Nourbakhsh, 2010, "Performance Properties of Microcrystalline Cellulose as a Reinforcing Agent in Wood Plastic Composite", *Composite: Part B*, Vol. 41, 578-581.
- Anonim, *Technical Data Sheet of Unsaturated Polyester YUKALAC 157 BQTN-EX*, 2008, Justus Kimia Raya Industri, Jakarta.
- Birm-June Kim, Fei Yao, Guangping Han, Qinglin Wu, 2012, *Performance of Bamboo Plastic Composites With Hybrid Bamboo and Precipitated Calcium Carbonate Fillers*, *Polym. Compos.*, Vol. 33, 68-78.
- DOE Fuel and Appliance Testing Laboratory, 2008, *Proximate Analysis Of Coconut Shell*.
- Katsoulotos, G., Pappa, G., Tarantili, P.A., Magoulas, K., 2008, *Polymer Engineering Science*.
- Shao-Yun Fu, Xi-Qiao Feng, Bernd Lauke, Yiu-Wing Mai, 2008, *Effects of Particle Size, Particle/matrix Interface Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate-polymer Composites*, *Composites: Part B*, Vol. 39, 933-961.
- Sreekala, M.S., 2003, *Compos Sci Technol*, Vol. 63, 861
- Tay, G.S., Mohd. Zaim, J., Rozman, H.D., 2010, *J. of Appl Polym Sci*, Vol. 116, 1867-1872.

CONCLUSIONS



ISSN 0016087403