

PROSIDING



SEMINAR NASIONAL INTEGRASI PROSES 2014 JURUSAN TEKNIK KIMIA

27 November 2014
Gedung COE Petrokimia BANTEN

Diselenggarakan oleh :

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
ISSN 2088-6756

Didukung oleh :



Disponsori oleh :

 **PT. NEW MODULE INTERNATIONAL**
SCIENTIFIC TECHNICAL SUPPLIES

 **Chandra Asri**
Petrochemical

 **NIPPON**
SHOKUBAI

KATA PENGANTAR

Departemen Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dengan bangga mempersembahkan buku prosiding yang berisi kumpulan hasil penelitian yang dipresentasikan pada Seminar Nasional Integrasi Proses (SNIP) tahun 2014 dengan tema **“Pengembangan Penelitian dan Aplikasi Teknologi Integrasi Proses untuk Industri Kimia Indonesia”**. SNIP 2014 dilaksanakan di Gedung Center of Excellence (CoE), Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) pada tanggal 27 November 2014.

Dewasa ini, perkembangan proses produksi serta semakin bertambahnya jumlah industri kimia menyebabkan semakin tingginya kebutuhan akan energi. Jika kebutuhan energi tidak terpenuhi maka proses produksi akan terhambat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian dan aplikasi teknologi dalam penyediaan dan penghematan energi. Pemerintah Indonesia dalam PP No. 70 Tahun 2009 tentang Konversi Energi menyatakan bahwa penghematan energi yang mencakup seluruh tahap pengelolaan energi (penyediaan energi, pengusahaan energi dan konservasi sumber daya energi) adalah tanggung jawab kita bersama.

Seminar Nasional Integrasi Proses (SNIP) 2014 mengundang mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi dan industri untuk ikut serta dalam menyelesaikan masalah energi pada proses industri kimia di Indonesia. Acara ini terdiri dari dua sesi yaitu sesi 1 : Talk Show Keynote Speaker dan sesi 2 : Diskusi Paralel. Pada sesi 1, Talk Show dilaksanakan di aula utama dengan Keynote Speaker dari Akademisi (Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA - Guru Besar Universitas Indonesia), Praktisi (Ir. Helmilus Moesa – General Manager Process & Technology, PT. Chandra Asri Tbk.) dan Kementrian (Ir. M. Khayam – Direktur Industri Kimia Dasar Kementrian Perindustrian). Pada sesi 2, peserta mempresentasikan makalah yang dibagi dalam 3 (tiga) bidang yaitu Energi, Proses Industri Kimia dan Pengolahan Limbah & Air.

Kami mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada para peserta dan pihak sponsor yang berkontribusi pada acara ini serta apresiasi yang setinggi – tingginya kepada panitia pelaksana atas komitmen dari awal sampai akhir pelaksanaan seminar. Kami berharap seminar ini dapat berlangsung secara sukses dan para peserta mendapatkan pengalaman dan pengetahuan yang baru untuk memperkaya khasanah keilmuan. Marilah kita memanfaatkan momentum ini untuk berbagi ilmu, memperluas jaringan dan diskusi bersama. Salam sukses.

Terimakasih

Dr. Indar Kustiningsih, S.T., M.T.
Ketua Pelaksana Seminar Nasional Integrasi Proses 2014

ORGANISASI

Pengarah:

Kurnia Nugraha, S.T., M.T. (Dekan Fakultas Teknik UNTIRTA)
 Dr. Fatah Sulaiman, S.T., M.T.
 Dr. Yeyen Maryani, S.Si, M.Si
 Rudi Hartono, S.T., M.T

Penanggung Jawab:

Dr-Ing. Anton Irawan, S.T., M.T.

Pelaksana:

Ketua Pelaksana : Dr. Indar Kustiningsih, S.T., M.T.

Sekretaris : Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T.

Bendahara : Wardalia, S.T., M.T.

Bidang Acara : Nufus Kanani, S.T., M.T.
 Meri Yulvianti, S.Pd., M.Si.
 Widya Ernayati, S.Si., M.Si.
 Marta Pramudita, S.T., M.T.

Perlengkapan dan Dokumentasi : Rusdi, S.T., M.T.

Publikasi dan Prosiding : Agus Rochmat, S.Si., M.Farm.
 Heri Heriyanto, S.T., M.Eng.

Sponsorship : Jayanudin, S.T., M.Eng.
 Rudi Hartono, S.T., M.T

Konsumsi : Dhena Ria Barleany, S.T., M.Eng.
 Denni Kartika Sari, S.T., M.T.
 Retno Sulistyoyo, S.T., M.Eng.

Reviewer:

Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T. (UI)
 Dr. Yogi Wibisono Budhi, S.T., M.T. (ITB)
 Dr-Ing. Anton Irawan, S.T., M.T. (UNTIRTA)
 Dr. Fatah Sulaiman, S.T., M.T. (UNTIRTA)
 Dr. Yeyen Maryani, M.Si (UNTIRTA)

TOPIK

Seminar Nasional Integrasi Proses (SNIP) 2014 terdiri dari 13 topik yang dikelompokkan dalam 3 bidang, yaitu:

Bidang I (Energi)

- Teknologi Energi Konvensional
- Teknologi Baru Terbarukan
- Termodinamika

Bidang II (Proses Industri Kimia)

- Optimasi Proses
- Pemodelan dan Simulasi Proses
- Keselamatan Proses
- Pengembangan Proses Berkelanjutan
- Evaluasi Operasional dan Troubleshooting Pabrik Proses
- Teknologi Bahan
- Kinetika Katalisa dan Reaktor Kimia
- Inovasi Rekayasa Proses dan Produk

Bidang III (Pengolahan Limbah dan Air)

- Teknologi Pengolahan Limbah dan Air
- Bioproses dan Bioteknologi

KEYNOTE SPEAKERS

Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA

Guru Besar Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia



Prof. Widodo berpengalaman selama 28 tahun dalam pendidikan teknik kimia dengan fokus riset "*Sustainable Energy System Modelling and Policy Analysis*" dan "*Nanomaterials for sustainable energy technology*". Beliau telah meluluskan 14 doktor dan lebih dari 50 master serta sedang membimbing 7 mahasiswa S-3. Beliau memiliki lebih dari 100 jurnal saintifik yang telah dipublikasikan dan 2 buku ilmiah yang telah diterbitkan. Saat ini, beliau aktif sebagai Anggota Komisi Penilaian AMDAL Pusat (Tim Teknis Migas, KLH), Anggota Dewan Riset (Komisi Teknis Energi) dan Associate Editor Journal natural Gas Science and Engineering (JNGSE)-Elsevier. Selain itu, beliau juga menjadi senior member dalam American Institute of Chemical Engineers (AIChE) sejak 1990 dan Anggota Asosiasi BKKPII. Penghargaan bergengsi yang pernah beliau dapat diantaranya Ketua Jurusan Berprestasi Tingkat Nasional 2012 – DIKTI, ChemEng Award 2014 – BKKPII, Excellent Teaching Award 2014 – Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Ir. Helmilus Moesa

General Manager Process and Technology PT. Chandra Asri Tbk.



Ir. Helmilus lebih dari 25 tahun dalam bidang *Operation, Process Technology* dan *Business Development* pada industri petrokimia (*Petrochemical industry*). Beliau menjadi Secretary of ROPTC (Regional Olefin Producer Technical Committee) South East Asia Region dari tahun 2005 sampai 2006, dan menjadi Chairman of ROPTC dari tahun 2014 sampai 2015. Sejak tahun 2001 hingga sekarang, beliau menduduki posisi – posisi strategis diantaranya General Manager Operation PT. Chandra Asri (2001 – 2007), General Manager Process Technology PT. Chandra Asri (2008 – 2014) dan Technical Advisor Business and Project Development PT. Chandra Asri Petrochemical (2014 – sekarang). Beliau memiliki banyak pengalaman training diantaranya Ammonia Plant Operation Training oleh Licensor MW. Kellogg (Houston-Texas-USA), Turbine and Compressor Operation Training oleh Original Equipment Manufacture Mitshubishi Heavy Industry (Hiroshima-Japan), Hydrogen Recovery Unit Operation Training oleh Licensor Linde, GMBH (Dresden-Germany).

Ir. Muhammad Khayam, M.T.

Direktur Industri Kimia Dasar Kementerian Perindustrian

Ir. Muhammad Khayam lahir di Jakarta tahun 1962. Beliau diangkat menjadi Direktur Industri Kimia Dasar pada Maret 2014 sampai sekarang. Sebelumnya beliau menjabat sebagai Kepala Sub. Direktorat Industri Kimia Organik Dasar pada Direktorat Industri Kimia Dasar, Direktorat Jenderal Basis Industri Manufaktur, 2010 - 2014, Kepala Sub. Direktorat Kerjasama Industri dan Promosi Investasi, pada Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia dari tahun 2007-2010. Beliau meraih gelar Sarjana Teknik Kimia dari Institut Teknologi Bandung tahun 1990 dan Magister Teknik Mesin dari Universitas Indonesia tahun 2002.

SEMINAR NASIONAL INTEGRASI PROSES



Seminar Nasional Integrasi Proses (SNIP) merupakan agenda rutin yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Seminar ini juga merupakan sarana komunikasi bagi para peneliti dari perguruan tinggi, institusi pendidikan, lembaga penelitian dan industri kimia.

Integrasi proses diperkirakan muncul pada *decade* 1980-1990 yang merupakan disiplin baru dalam teknik kimia dengan penekanan pada efisiensi penggunaan energi. Pada integrasi proses penghematan energi dapat dilakukan dengan menganalisa permasalahan secara keseluruhan proses (sistem) dan tidak berdasar pada unit yang berdiri sendiri.

Teknologi yang efektif, efisien dan ramah lingkungan merupakan suatu hal yang mutlak untuk diterapkan dalam suatu industri kimia. Oleh sebab itu pengembangan penelitian dan penerapan teknologi integrasi proses sangat diperlukan agar dapat dimanfaatkan secara maksimal, khususnya pada industri kimia di Indonesia.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNTIRTA berada disekitar industri besi dan baja serta industri petrokimia. Hal ini sangat menguntungkan bagi Jurusan Teknik Kimia karena bisa mendapatkan informasi tentang teknologi proses kimia lebih mudah dan dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh industri kimia. Keuntungan lain adalah hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Jurusan Teknik Kimia dapat meningkatkan pengembangan teknologi proses kimia.

Merujuk pada PP No. 70 Tahun 2009 tentang Konversi Energi, maka pada tahun ini, Jurusan Teknik Kimia mengadakan acara Seminar Nasional Integrasi Proses 2014 dengan tema "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia". Seluruh tahap pengelolaan energi (penyediaan energi, penggunaan energi dan konservasi sumber daya energi) merupakan hal yang penting dalam proses industri kimia. Dengan tema yang diusung, Jurusan Teknik Kimia UNTIRTA berharap seluruh instansi perguruan tinggi, badan penelitian dan seluruh industri kimia terutama yang berada di sekitar Banten dapat berpartisipasi untuk saling berbagi dan diskusi dalam menyelesaikan permasalahan energi di Indonesia.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA



Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dimulai dengan berdirinya Yayasan Pendidikan Tirtayasa pada tanggal 1 oktober 1980 berdasarkan Akte Notaris No: 1 Tahun 1980, kemudian dilakukan penyempurnaan dan dikukuhkan kembali dengan akte Notaris Ny. R. Arie Soetardjo, Nomor 1, Tanggal 3 Maret 1986.

Langkah awal Yayasan Pendidikan Tirtayasa mendirikan Sekolah Tinggi Ilmu Hukum (STIH) pada tahun 1981 disusul dengan pendirian Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) pada tahun 1982. Berbarengan dengan pendirian STKIP, Yayasan Krakatau Steel Cilegon mendirikan Sekolah Tinggi Teknik (STT) yang selanjutnya STT bergabung dengan Yayasan Pendidikan Tirtayasa untuk persiapan berdirinya Universitas Tirtayasa Serang-Banten.

Universitas Tirtayasa Serang Banten merupakan merupakan penggabungan dari STIH, STT dan STKIP berdasarkan Surat Keputusan Mendikbud RI Nomor; 0596/0/1984, tanggal 28 November 1984, maka berubahlah status masing-masing sekolah tinggi menjadi Fakultas Hukum, Fakultas Teknik, dan Fakultas Ilmu Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP). Dari tahun ke tahun Universitas Tirtayasa mengembangkan pendirian fakultas dan program studi baru ditandai dengan berdirinya Fakultas Pertanian berdasarkan Surat Keputusan Mendikbud RI Nomor: 0123/0/1989, tanggal 8 Maret 1989, dan Fakultas ekonomi dengan Surat Keputusan Mendikbud Nomor: 0331/0/1989, tanggal 30 Mei 1989.

Pada tanggal 13 oktober 1999 keluarlah Keppres RI Nomor; 130/1999 tentang Persiapan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pada tahun 2001 berdasarkan Keputusan Presiden RI Nomor: 32 tanggal 19 maret 2001 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa secara resmi ditetapkan menjadi Perguruan Tinggi Negeri di Provinsi Banten.

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa saat ini menyelenggarakan program pendidikan akademik dan program pendidikan vokasi. Program Pendidikan Akademik terdiri atas Program Pendidikan Sarjana(S1) sebanyak 6 fakultas dan 1 Program Pendidikan Megister (Pascasarjana), yaitu (1) Fakultas Hukum, (2) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, (3) Fakultas Teknik, (4) Fakultas Pertanian, (5) Fakultas Ekonomi, (6) Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, dan (7) Pascasarjana. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa juga menyelenggarakan Program Pendidikan Vokasi yaitu Program Diploma III. Fakultas yang menyelenggarakan Program Diploma III, yaitu Fakultas Ekonomi terdiri atas Prodi Akuntansi, Prodi Marketing/Pemasaran, Prodi Perpajakan, Prodi Keuangan dan Perbankan. Fakultas Teknik dengan 1 Prodi yaitu Prodi Teknik Komputer dan Multimedia.



Seminar Nasional Intergrasi Proses
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

PROVINSI BANTEN



Banten adalah sebuah provinsi di Pulau Jawa, Indonesia. Provinsi ini dulunya merupakan bagian dari Provinsijawa Barat, namun dipisahkan sejak tahun [2000](#), dengan keputusan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2000. Pusat pemerintahannya berada di Kota Serang. Secara ekonomi wilayah Banten memiliki banyak industri. Wilayah Provinsi Banten juga memiliki beberapa pelabuhan laut yang dikembangkan sebagai antisipasi untuk menampung kelebihan kapasitas dari pelabuhan laut di Jakarta dan ditujukan untuk menjadi pelabuhan alternatif selain Singapura.

Potensi dan kekhasan budaya masyarakat Banten, antara lain seni bela diri Pencak silat, Debus, Rudad, Umbruk, Tari Saman, Tari Topeng, Tari Cokek, Dog-dog, Palingtung, dan Lojor. Di samping itu juga terdapat peninggalan warisan leluhur antara lain Masjid Agung Banten Lama, Makam Keramat Panjang, dan masih banyak peninggalan lainnya.

Di Provinsi Banten terdapat Suku Baduy. Suku Baduy Dalam merupakan suku asli Sunda Banten yang masih menjaga tradisi antimodernisasi, baik cara berpakaian maupun pola hidup lainnya. Suku Baduy-Rawayan tinggal di kawasan Cagar Budaya Pegunungan Kendeng seluas 5.101,85 hektare di daerah Kanekes, Kecamatan Leuwidamar, Kabupaten Lebak. Perkampungan masyarakat Baduy umumnya terletak di daerah aliran Sungai Ciujung di Pegunungan Kendeng. Penduduk asli yang hidup di Provinsi Banten berbicara menggunakan dialek yang merupakan turunan dari bahasa Sunda Kuno.



Seminar Nasional Intergrasi Proses
 "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

ACARA

Waktu	Kegiatan	Keterangan Acara
08.00-08.30	Registrasi	Pembagian konsumsi dan pendataan peserta
08.30-08.35	Safety Introduction	Pemaparan dan penjelasan tentang ruangan jalur evakuasi kamar mandi serta ketinggian & letak geografis
08.35-08.40	Pembukaan	Pembukaan acara
08.40-08.45	Tilawah	Pembacaan Al-quran beserta artinya
08.45-09.00	Tarian Tradisional	Tarian rampak beduk atau bentang
09.00-09.30	Sambutan-Sambutan	Sambutan dari ketua pelaksana seminar, Kemenperin dan Rektor UNTIRTA
09.30-09.45	Coffee Break	Hiburan musik akustik dari panitia dan coffe break
09.45-11.15	Talk Show (Diskusi Panel <i>Keynote Speaker</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA (Guru Besar Departemen Teknik Kimia UI) Materi : Peran <i>Process System Engineering</i> untuk Ketahanan dan Keberlanjutan Energi Nasional (30') 2. Ir. Helmilus Moesa (General Manager – Process and Technology, PT. Chandra Asri Tbk.) Meteri : Peran Industri dalam Efisiensi Energi di Industri Kimia Indonesia (30') 3. Ir. Muhammad Khayam (Direktur Industri Kimia Dasar,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

		Kementerian Prindustrian) Materi :Rencana Strategis Indonesia dalam Penyediaan Energi untuk mendukung Industri Kimia (30')				
11.15-12.00	Tanya Jawab					Tanya jawab seputar talk show
12.00-13.00	Isoma					Istirahat, sholat dan makan siang
13.00-15.00	Diskusi paralel					
	Ruang A	Ruang B	Ruang C	Ruang D	Ruang E	
	EN.02	EN.01	PIK.01	PIK.04	LIM.02	
	EN.04	EN.03	PIK.02	PIK.06	LIM.04	
	EN.05	EN.13	PIK.05	PIK.07	LIM.05	
	EN.08	PIK.03	PIK.13	PIK.08	LIM.06	
	EN.09	PIK.10	PIK.15	PIK.17	LIM.08	
	EN.12	PIK.11	PIK.19	PIK.18	LIM.10	
15.00-15.30	Coffee break					Hiburan musik akustik dari panitia dan coffe break, peserta diperkenankan untuk mengisi acara, pemutara film pendek mengenai kegiatan chemeng day
15.30-17.00	Diskusi paralel					
	Ruang A	Ruang B	Ruang C	Ruang D	Ruang E	
	EN.06	PIK.12	PIK.21	PIK.09	LIM.07	
	EN.07	PIK.14	PIK.22	PIK.20	LIM.09	
	EN.10	PIK.16	PIK.23	LIM.01	LIM.11	
	EN.11		PIK.24	LIM.03	LIM.12	
17.00-17.30	Penutupan					Pembagian sertifikat setelah penutupan acara



Seminar Nasional Intergrasi Proses
 "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

A. Bidang I (Energi)

Code	Penulis	Judul
EN.01	Praswasti PDK Wulan, Yuswan Muharam, Widodo W. Purwanto, Mahmud Sudibandriyo	Kinerja Reaktor Katalis Terstruktur untuk Produksi Hidrogen dan Carbon Nanotube Melalui Proses Dekomposisi Metana
EN.02	Nelson Saksono, Iryandi, dan Setijo Bismo	Produksi Hidrogen Melalui Metoda Elektrolisis Plasma pada Larutan KOH - Metanol
EN.03	Nufus Kanani, Bardi Murrachman, Budhijanto	Pengaruh Surfaktan Terhadap Stabilitas Bahan Bakar Alternatif Coal-Oil Mixtures
EN.04	Erlina Yustanti, Marta Pramudhita, Mutiara Aghniya	Pengaruh Waktu Rekarbonisasi dan Variasi Binder pada Pembuatan Briket Kokas
EN.05	Rudi Hartono, Tri Yogo Wibowo, Rennieda Soliana Putri, Windah Sartika	Pemurnian Biodiesel Minyak Jelantah dengan Metode Dry Washing Menggunakan Kombinasi Adsorben
EN.06	Heri Heriyanto, Widya Ernayati K. Chaerul Umam, Nita Margareta	Pengaruh Minyak Jelantah pada Proses UBC untuk Meningkatkan Kalori Batubara Bayah
EN.07	Widya Ernayati K., Heri Heriyanto, Ahmad Juproni, Rosikha Taqi	Pengaruh Minyak Pelumas Bekas pada Proses UBC untuk Meningkatkan Kalori Batubara Bayah
EN.08	Endang Suhendi, Caturwati NK, Fernando A	Pengaruh Variasi Komposisi Biomasa dan Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Briket
EN.09	Fatah Sulaiman, Indra Budi Setiawan	Desulfurisasi Batubara Bayah dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Kalsium Hipoklorit
EN.10	Husni Husin, Fikri Hasfita	Fotokatalitik Produksi Hidrogen dari Air pada Fotokatalisis $\text{RuO}_2/\text{NaTaO}_3$

B. Bidang II (Proses Industri Kimia)

No.	Penulis	Judul
PIK.01	Rondang Tambun, Nofriko Pratama, Ely, Farida Hanum	Penentuan Distribusi Ukuran Partikel Tepung Terigu dengan Menggunakan Metode Pengapungan Batang (Buoyancy Weighing-Bar Method)
PIK.02	Jayanudin, Nurur Rifqoh dan Rizki Dwi Roza	Ekstraksi Rimpang Kunyit (<i>Curcuma domestica</i>) Menghasilkan Oleoresin Menggunakan Ekstraksi Maserasi Dengan Pelarut Etanol



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

PIK.03	Yuswan Muharam dan I Ketut Sukariawan	Pengaruh Kecepatan dan Temperatur Gas Buang pada Kinerja Three-Way Catalytic Converter Utuh Skala Kecil
PIK.04	Eva Fathul Karamah dan Dipo Aji Santiko	Evaluasi Pembentukan Agen Pengoksidasi Pada Proses Kavitas Hidrodinamika Menggunakan <i>Water-Jet</i>
PIK.05	Nelson Saksono, Dimas Riska Irawan, Setijo Bismo	Pengaruh Geometrik Selubung, Tegangan dan Kedalaman Anoda pada Proses Produksi Gas Klor Menggunakan Metode Elektrolisis Plasma
PIK.06	Yanyan Dwiyantri, Alfirano, Hesga Fadiastian	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Fasa Presipitat dan Ketahanan Korosi pada Paduan Co-Cr-Mo-C-N (<i>ASTM F75</i>) untuk Aplikasi Biomedis
PIK.07	Yanyan Dwiyantri, Alfirano, Alfani Ghani Sauri	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Fasa Presipitat dan Ketahanan Aus Pada Paduan Co-Cr-Mo (<i>ASTM F75</i>) untuk Aplikasi Biomedis
PIK.08	Marthen Luther Doko, Ruckie Wa Sholatha	The Application of Command Generator Tracker Concept in Model Reference Adaptive Control of Chemical Processes
PIK.09	Marthen Luther Doko, Ruckie Wa Sholatha	The Concept of Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability in Process Control: Distillation Column Control Case
PIK.10	Sutrasno Kartohardjono, Yuswan Muharam, Muhammad Iwan Fermi	Penggunaan Metode CFD pada Perancangan Spacer dalam Aliran Umpan Modul SWM
PIK.11	Denni kartika sari, Indar Kustiningsih, Sakinah, Khumaedi	Karakteristik Dodol Rumput Laut (<i>Kappaphycusalvarezzy</i>) dengan Penambahan Nutrijel dan Pengaruh Variasi Suhu dan waktu Pengerian dalam Pembuatan Dodol Rumput Laut
PIK.12	Setijo Bismo, Dian Ikramina, Rahayu Eka Susilarini, Honesty Indria Nisa	Ozonasi Campuran Minyak Zaitun Dan Minyak Kedelai untuk Sintesis Bahan Anti-dermatitis
PIK.13	Novi Sylvia, Yazid Bindar, Yunardi	Prediksi Medan Alir, Efisiensi dan Penurunan Tekanan pada Siklon Persegi Menggunakan CFD
PIK.14	Sri Mulyati, Fachrul Razi, Sofyana	Pengaruh Kondisi pH Larutan terhadap Kinerja Ultrafiltrasi Larutan Bovine Serum Albumin Menggunakan Membrane Polietersulfon
PIK.15	Dicky Dermawan	Peningkatan Ketahanan Oksidasi Pelumas <i>Bio-based</i> : Reaksi Propil Paraben dengan Formaldehida
PIK.16	Daril Ridho, Anindya Rachmawati, Aditya Putra, Juwari, Renanto Handogo.	Optimisasi Proses <i>Carbon And Storage System</i> dengan Metode Pinch



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

PIK.17	Yeyen Maryani, Ika wirahayu, Deri Cahyadi	Isolasi Senyawa Aktif Detergen dari <i>Sapindus rarak</i> (Buah Lerak) dengan Metode Ekstraksi
PIK.18	Abdul Aziz, Muhammad Fitrullah, Anky Fadharani	Studi Optimasi Penambahan Air Dan Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan dan <i>Permanent Linier Change</i> Pada Refraktori <i>Low Cement Castable Alumina</i>

C. Bidang III (Pengolahan Limbah dan Air)

Code	Penulis	Judul
LIM.01	Farida Hanum	Penyisihan COD pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dari Unit Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (Ranut) dengan Teknik Elektrokoagulasi
LIM.02	Rusdi, Arif Rovianto, Sahroni, Wahyudi Widodo	Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Metode BioSand Filter + Karbon Aktif
LIM.03	Sunardi, Rina Lusiani, Yogie Ardiansah	Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Papan Komposit dengan Variasi Panjang Serat
LIM.04	Dhena Ria Barleany, Sita Kurniaty Ratoko, Setya Hadi, Erizal	Sintesis Hidrogel Polivinil Alkohol (PVA)-Gelatin dengan Teknik Irradiasi Sinar Gamma (γ)
LIM.05	Nadiem Anwar, Ate Romli, Sukrido	Hidrolisis Sampah Organik Taman Menggunakan Asam Sulfat Encer
LIM.06	Sofyana, Cut Meurah Rosnelly, Friska Meirisa, Maitrisna Fillya	Effect Of Concentration Cellulose Acetate To Ultrafiltration Membrane Performance At Decreasing Phosphat Compound In Laundry Waste
LIM.07	Agus Rochmat, Indratmo Arif Cahya, Banu Kuncoro	Pemanfaatan Ekstrak Biji Pare Sebagai Biolarvasida pada Jentik Nyamuk Pemukiman di Daerah Cikupa Tangerang
LIM.08	Rahmayetty, Misri Gozan, Dwi Prasetio, Rosalia	Pembuatan Asam Laktat Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Sakarifikasi Fermentasi Simultan
LIM.09	Anton Irawan, Fitri Setiani, Ichsan Putu Wijoyo	Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses Torefaksi Terhadap Kualitas Produk Torefaksi Kulit Durian
LIM.10	Tuti Indah Sari, A. Rasyidi Fachry, Sthevanie, Susi Susanti, Martha Ria, Aristia Alisandi	Potensi Kulit Kerang Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Curing dan Sifat Fisik Produk Karet Alam



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

LIM.11	Tri Partuti	Efektivitas Resin Penukar Anion Untuk Merunkan Kadar Total Dissolved Solid (TDS) Dalam Limbah Air Terproduksi Industri Migas
LIM.12	Sutrasno Kartohardjono, Kezia Elkardiana, Ananda Putra Sangaji	Penyisihan Amonia terlarut dari Air Limbah Melalui Kontraktor Membran Superhidrofobik dengan Variasi Tingkat Keasaman

ABSTRAK
KEYNOTE SPEAKERS



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

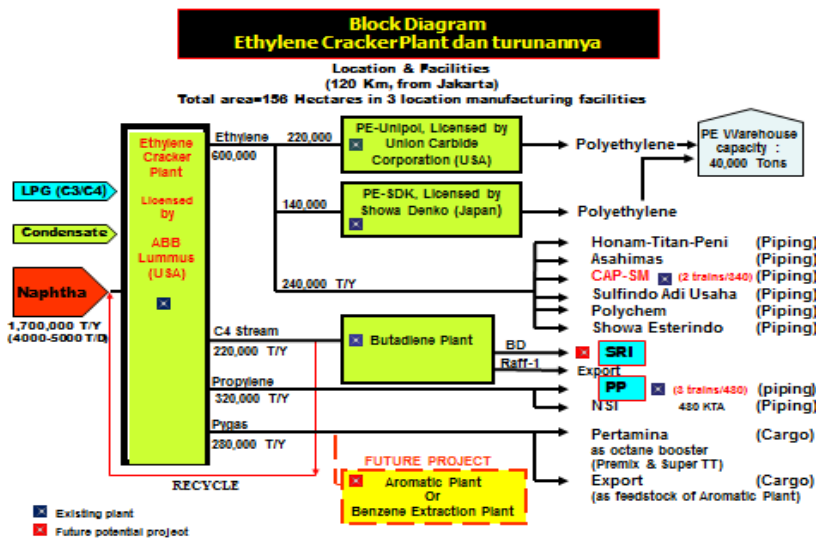
INTEGRATION GAS TURBINE & CRACKING FURNACE TO GET CHEAPER ELECTRICITY & REDUCING CRACKING FURNACE COST IN ETHYLENE CRACKER PLANT

Helmilus Moesa

PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk

Abstrak

Ethylene cracker plant merupakan Industri hulu Olefin based Petrochemical Industry, bahan baku dari Ethylene plant adalah Naphtha, Condensate, LPG, ethane dan lain-lain, proses yang terjadi adalah thermal cracking & cryogenic distillation, secara garis besar simple diagram pabrik Ethylene Cracker plant beserta turunannya seperti terlihat pada block diagram dibawah ini:



Dari bahan baku *typical Naphtha/Condensate/LPG/Ethane* dan lain-lain masuk ke *ethylene cracker plant* akan menghasilkan produk Utama yaitu *Ethylene, Propylene, Pygas, Crude4*, pada saat yang sama juga menghasilkan hasil samping berupa (*Hydrogen, Methane, Ethane, Propane, Crude C5, C9 & Pyrolysis Fuel Oil (PFO)*), produk Utama dijual sebagai produk komoditas (*Commodity product*), sedangkan hasil sampingnya direcycle kembali sebagai bahan baku (*Crude C5, Ethane, Propane*) sedangkan hasil samping berupa Hydrogen, C9 & PFO digunakan sebagai bahan bakar baik di Furnace maupun di Boiler, khusus untuk methane disamping digunakan sebagai bahan bakar (Boiler & Furnace) juga digunakan untuk pembangkit listrik *Gas Turbine*, pada presentasi ini penulis ingin share bagaimana Chandra Asri mengotimumkan *Gas Turbine Generator* dan *furnace* sehingga didapat harga *electricity* yang murah dan *furnace craking cost* nya rendah, gambar *flow sheet schema optimization Gas Turbine Generator dan Cracking furnace* di *ethylene cracker plant* dapat dilihat dari gambar di bawah ini

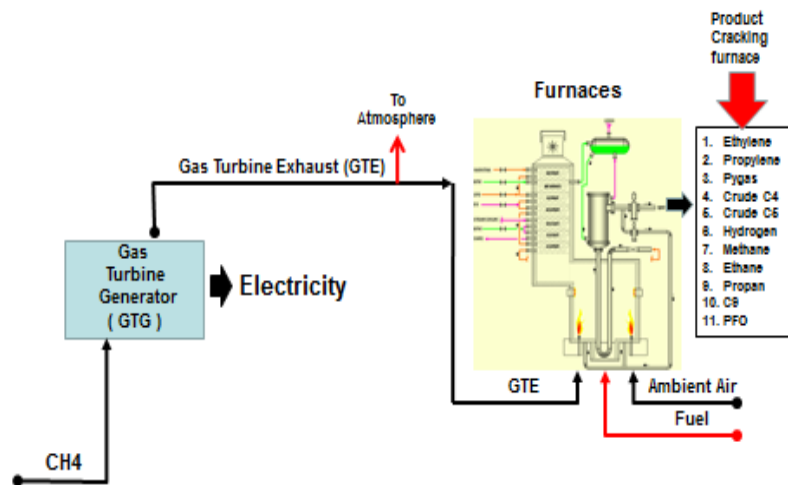


Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014



Kesimpulan :

Dengan mengoptimalkan dua *major equipment* tersebut (*Gas Turbine Generator/GG & Cracking furnaces*) didapat harga listrik yang lebih murah dan biaya *thermal cracking* juga menjadi lebih rendah, yang pada akhirnya meningkatkan daya saing perusahaan ini baik domestic, regional & maupun Global.

**BIDANG I
ENERGI**



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

KINERJA REAKTOR KATALIS TERSTRUKTUR UNTUK PRODUKSI HIDROGEN DAN CARBON NANOTUBE MELALUI PROSES DEKOMPOSISI METANA

Praswasti PDK Wulan^{1*}, Yuswan Muharam, Widodo W. Purwanto, Mahmud Sudibandriyo

¹Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

*E-mail: wulan@che.ui.ac.id / praswasti.pdk.wulan@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan melakukan uji kinerja reaktor katalis terstruktur pelat untuk produksi *carbon nanotube* dan hidrogen melalui reaksi dekomposisi katalitik metana. Katalis yang digunakan adalah katalis Ni-Cu-Al dengan perbandingan molar 2:1:1. Reaksi dekomposisi katalitik metana dilakukan pada suhu 700 °C selama 5 jam, dengan variasi *space time* 0,0006; 0,0032; 0,006 gr min/mL. Hasil uji kinerja tertinggi didapatkan pada *space time* 0,006 gr min/mL dengan konversi metana tertinggi 83,01%; kemurnian hidrogen 70,23% dan *yield* karbon 2,5 gr/gr katalis. *Carbon nanotube* yang dihasilkan memiliki diameter dalam berukuran 7,5-15 nm berbentuk Y-junction.

Kata Kunci : *Carbon nanotube, hidrogen, reaksi dekomposisi katalitik metana, reaktor katalis terstruktur*

Abstract

The purpose of this research is to test the performance of plate structured catalyst to produce *carbon nanotube* and hydrogen via catalytic decomposition of methane. In this research, catalyst of Ni-Cu-Al with the molar ratio by 2:1:1 was used. The decomposition reaction took place at 700°C suhure for 5 hours, using 0,0006; 0,0032; and 0,006 gr min/mL *space time* variations. The maximum performance space-time was 0,006 gr min/mL with 83,01% for the highest number of methane conversion, 70,23% for the highest number of hydrogen purity, and 2,5 gr C/ gr catalyst carbon *yield*. Carbonnanotubes(CNTs) produced hasan inner diameterof 10-30nmandouter diameter of30-50nm atthe bestreaction timeat20minutes. Increasedreaction timeup to 5hours(300 minutes) willproducethe type ofY-Junction CNTwith 7,5-15 nm inner diameter.

Keywords : *carbon nanotube, catalytic decomposition of methane, hydrogen, structured catalyst reactor,*

1. PENDAHULUAN

Studi mengenai nanoteknologi merupakan salah satu studi yang sedang berkembang cepat sebagai bagian dari riset-riset dewasa ini. Salah satu riset nano teknologi yang sangat berkembang adalah studi mengenai nano karbon.. Karakteristik khusus nano karbon membuatnya banyak

digunakan sebagai penyimpanan hidrogen, support katalis, adsorpsi, perangkat nano elektronik. Salah satu metode yang efektif untuk menghasilkan nano karbon adalah melalui dekomposisi katalitik metana. Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia selama periode kurang lebih sepuluh tahun telah memprakarsai penelitian

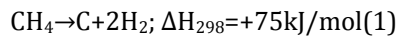


Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dekomposisi katalitik metana dengan reaksi sebagai berikut (Grujicic M. 2002):



Proses ini, tidak memerlukan pemurnian CO dan tidak menghasilkan CO₂ (gas rumah kaca) karena unsur karbon yang dihasilkan langsung dikonversi menjadi nano karbon. Di samping itu, dekomposisi katalitik metana adalah metode yang menjanjikan karena hasil produk yang tinggi dan mudah dikontrol (Praswasti PDK Wulan 2011).

Selain menghasilkan nano karbon, dekomposisi katalitik metana juga menghasilkan hidrogen. Hidrogen dan sel bahan bakar aplikasi dapat menjadi sumber energi alternatif yang menghasilkan energi dan ramah lingkungan. Jumlah energi yang dihasilkan selama pembakaran hidrogen lebih tinggi dari bahan bakar lainnya yang dihasilkan dalam basis massa, dengan nilai kalori yang rendah, yaitu 2,4; 2,8, atau 4 kali lebih tinggi dari metana, bensin, atau batubara (Hazzim F. Abbas & Daud 2010). Dengan penerapan sel bahan bakar yang memiliki toleransi senyawa CO (10-20 ppm), dekomposisi katalitik metana bisa dibilang sangat tepat. Kebutuhan energi menjadi kurang penting dengan tidak perlu proses pemurnian CO.

Reaksi dekomposisi metana merupakan reaksi endoterm yang dilakukan pada suhu tinggi sehingga reaksi ini memerlukan katalis. Katalis yang baik untuk reaksi dekomposisi metana adalah katalis nikel. Nikel dapat menurunkan energi aktivasi reaksi dekomposisi, memiliki aktivitas lebih tinggi dari logam lainnya (Co dan Fe) sehingga karbon yang dihasilkan relatif tinggi, memiliki kapasitas ukuran pori relatif tinggi untuk pertumbuhan karbon, memiliki toksisitas yang relatif rendah, dan harga relatif murah (Ermakova 2000). Namun, katalis nikel rentan terhadap sintering, sehingga penelitian ini akan menggunakan katalis Ni-Cu-Al. Cu memiliki peran sebagai pencegah karena sintering. Partikel Cu mampu mencegah sintering karena akan menembus di antara

partikel Ni dan alumina (Al) yang bertindak sebagai promotor tekstural.

Penelitian ini akan menggunakan reaktor katalitik terstruktur. Penggunaan reaktor ini diharapkan dapat mengatasi masalah yang dihadapi dalam penelitian menggunakan *fixed bed reactor* dan *fluidized bed reactor*. Beberapa penelitian sebelumnya menghadapi penyumbatan karena endapan karbon pada katalis yang menyebabkan peningkatan pressure drop pada reaktor unggun unggun tetap (Grujicic M. 2002), katalis yang tidak bercampur secara homogen dalam *spouted bed reactor* (Muradov 2001a), dan waktu tinggal yang singkat pada reaktor fluidized bed sehingga menghasilkan kemurnian hidrogen yang rendah (Muradov 2001b; Qian W 2004; Morancais A 2007; Wang Y 2007).

Penelitian terdahulu menggunakan reaktor terstruktur bentuk gauze. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor katalis terstruktur dapat mencegah terjadinya penurunan tekanan dan katalis Ni-Cu-Al mampu bertahan sampai lebih dari 33 jam. Konversi metana tertinggi diperoleh pada suhu 700°C adalah 94,87%, dengan kemurnian hidrogen mencapai 95,14%, dan nano karbon yang diperoleh 200gC/g katalis (Muharam 2007a). Kelemahan reaktor gauze adalah terbentuknya gumpalan karbon pada kawat. Untuk mengatasi hal tersebut, maka penelitian ini akan menggunakan katalis terstruktur pelat sejajar. Reaktor ini memiliki luas permukaan yang lebih besar, katalis terlapisi secara merata dan tidak terjadi penggumpalan. Sehingga diharapkan reaktor ini akan menghasilkan pertumbuhan nanokarbon yang lebih seragam dan rapi serta kualitas nano karbon yang dihasilkan berbentuk carbon nanotube.

2. METODE

Penelitian ini. Diawali dengan pembuatan reaktor dari bahan stainless steel 316 dengan diameter dalam 5,2 cm, diameter luar 6 cm dan panjang 46,5 cm seperti terlihat pada Gambar 1. Struktur katalis terstruktur berbentuk pelat sejajar yang terbuat dari

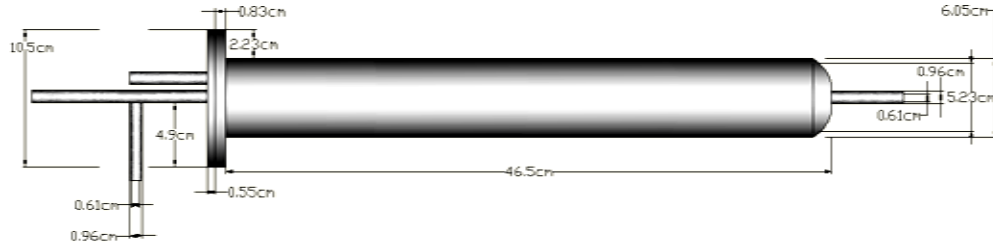


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

stainless steel 304 (SS 304) dengan ukuran 420 mm x 35 mm x 1 mm. Pelat sebanyak dua buah akan diletakkan di dalam reaktor dengan posisi sejajar berjarak 2 cm.

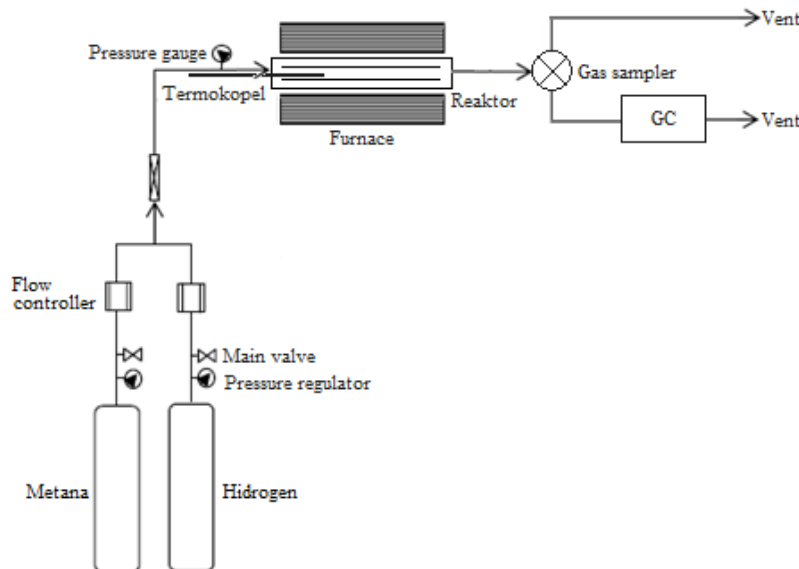


Gambar 1. Rancangan reaktor

Selanjutnya peralatan dirangkai dengan tabung gas, *flow* meter, reaktor, aliran menuju vent dan GC. Rangkaian peralatan dapat dilihat pada Gambar 2.

Katalis prekursor $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan asam sitrat dilarutkan dalam *deionized water* dengan menggunakan metode sol-gel untuk

memperoleh rasio molar Ni:Cu:Al = 2:1:1. Pelat SS 304 berukuran 420 mm x 35 mm sebagai substrat dilapisi katalis Ni-Cu-Al dengan menggunakan metode dip coating. Substrat dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 700 °C selama 1 jam dan selanjutnya direduksi hidrogen dengan laju alir 50 mL/menit selama 30 menit.



Gambar 2. Rangkaian peralatan penelitian

Uji kinerja reaktor dilakukan pada suhu 700 °C dan tekanan atmosferik selama 5 jam. Untuk mendapatkan kinerja terbaik, maka dilakukan variasi *space time* 0,0006 gr min/mL, 0,0032 gr min/mL dan 0,006 gr min/mL. yang meliputi konversi metana, kemurnian hidrogen dan *yield* karbon dengan menggunakan persamaan empiris :

$$X_{\text{CH}_4} = \frac{[(\text{CH}_4 \text{ in}) - (\text{CH}_4 \text{ out})]}{(\text{CH}_4 \text{ in})} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Yield C} = \frac{\text{massa karbon yang dihasilkan}}{\text{massa katalis}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Kemurnian H}_2 = \frac{[\text{H}_2] \text{ produk}}{\text{total produk}} \times 100\% \quad (4)$$



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

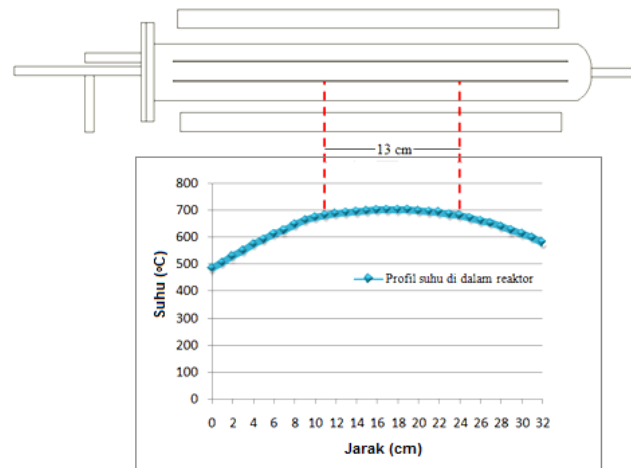
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Kualitas produk karbon yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscopy*) dan XRD.

3. HASIL dan DISKUSI

Panjang efektif reaktor dilakukan dengan mendapatkan profil suhu yang relatif seragam di dalam reaktor. Pelat diletakkan di

sepanjang reaktor dan pengukuran suhu dilakukan setiap 1 cm sepanjang reaktor. Profil suhu yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3:



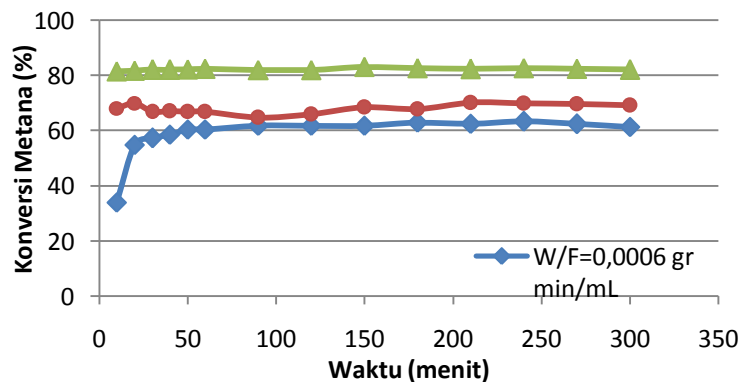
Gambar 3. Profil suhu dalam reaktor

Gambar 4 menunjukkan bahwa panjang efektif reaktor berada saat posisi pelat berada di tengah *furnace*. Panjang efektif yang diperoleh sekitar 13 cm dengan 15,25 cm dari ujung kiri *furnace* dan 12,25 cm dari ujung kanan *furnace*. Kisaran suhu untuk daerah panjang efektif ini sebesar 680-702 °C.

3.1 Pengaruh *Space Time* Terhadap Konversi Metana

Konversi metana tertinggi dengan *space time* 0,0006 diperoleh sebesar 63,26%

dan konversi rata-ratanya adalah 58,74%. Pengujian dengan *space time* 0,0032 didapatkan konversi metana tertinggi 70,07% dan konversi rata-ratanya 67,90%. Sedangkan pengujian dengan *space time* 0,006 memperoleh konversi metana tertinggi sebesar 83,01% dan konversi rata-ratanya adalah 82,17%. Gambar 5 menunjukkan hasil konversi metana terhadap waktu pada masing-masing *space time*.



Gambar 4. Profil konversi metana terhadap waktu untuk suhu reaksi 700°C



Seminar Nasional Intergrasi Proses

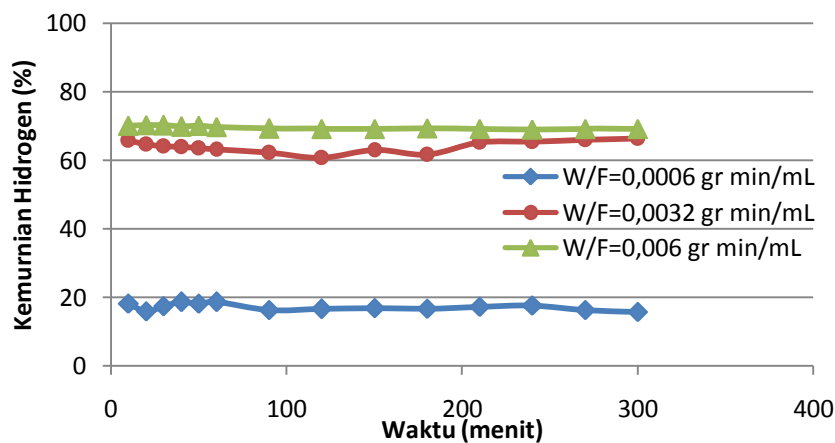
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Gambar 4 menunjukkan bahwa spacetime 0,006 memperoleh konversi yang paling tinggi. Hasil konversi metana pada *space time* 0,006 paling mendekati konversi kesetimbangan reaksi dekomposisi metana pada suhu 700°C, yaitu sebesar 92%. Selain itu dapat dilihat pula bahwa selama 5 jam reaksi, belum terdapat penurunan konversi yang signifikan, sehingga berarti katalis pelat masih bersifat aktif dan belum terdeaktivasi secara signifikan dengan adanya deposit karbon yang dihasilkan. Reaksi dekomposisi metana masih bisa berjalan dengan baik setelah 5 jam tersebut.

3.2 Pengaruh *Space Time* Terhadap Kemurnian Hidrogen

Gambar 5 merupakan kemurnian hidrogen yang dihasilkan untuk variasi spacetime yang digunakan dalam reaksi dekomposisi metana. Pada pengujian dengan spacetime 0,0006 didapatkan kemurnian hidrogen tertinggi adalah 18,66% dan rata-ratanya adalah 17,17%. Pengujian dengan spacetime 0,0032 didapatkan kemurnian hidrogen tertinggi adalah 66,38% dan rata-ratanya adalah 63,96%. Pengujian dengan spacetime 0,006 didapatkan bahwa kemurnian hidrogen tertinggi adalah 70,17% dan rata-ratanya adalah 69,52%.



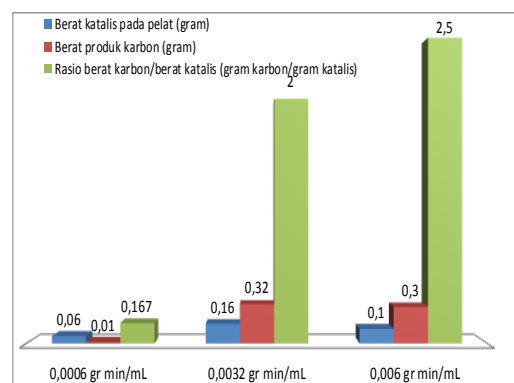
Gambar 5 Profil kemurnian hidrogen terhadap waktu untuk suhu reaksi 700°C

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka terlihat bahwa hasil kemurnian hidrogen paling tinggi yang didapatkan adalah dengan spacetime 0,006 gr min/mL. Hal ini selaras dengan konversi metana yang terjadi pada spacetime tersebut juga lebih besar dibanding spacetime 0,0032 gr min/mL dan 0,0006 gr min/mL.

3.3 Pengaruh *Space Time* Terhadap Yield Karbon

Hasil penelitian menunjukkan untuk waktu proses yang sama yaitu 5 jam, *yield* karbon paling besar terjadi pada *spacetime* 0,006 gr min/mL. Hal ini terjadi karena konversi metana pada *spacetime* tersebut merupakan nilai konversi paling besar, sehingga jumlah metana yang terkonversi

menjadi karbon pun lebih besar dibanding dua variasi lainnya. Hasil *yield* karbon dari setiap reaksi terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan *yield* karbon untuk suhu reaksi 700°C



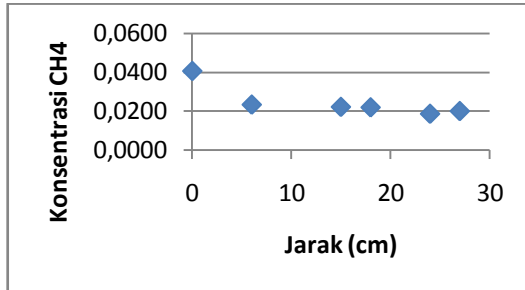
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3.4 Profil Konsentrasi Untuk Space-Time 0,006 Gr Min/mL

Pada kinerja reaktor dengan *space time* terbaik, dilakukan pengambilan sampel



Gambar 7 Profil konsentrasi CH₄ di dalam reaktor

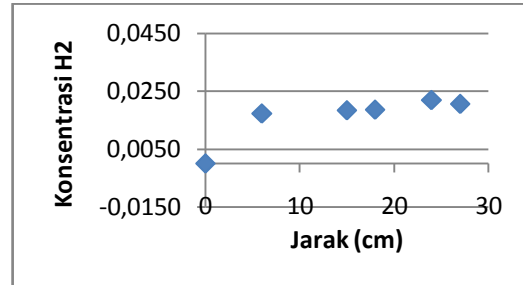
Gambar 7 menunjukkan bahwa konsentrasi metana di dalam reaktor semakin berkurang seiring mengalirnya gas ke bagian *outlet*. Pada titik nol, fraksi volume metana masih bernilai satu karena gas yang masuk ke dalam reaktor merupakan metana murni. Ketika metana mengalir di dalam reaktor, metana akan bereaksi dengan katalis Ni-Cu-Al pada pelat, sehingga konsentrasi metana akan semakin berkurang karena sudah terkonversi menjadi produk dekomposisi metana berupa hidrogen dan karbon.

Profil konsentrasi hidrogen di dalam reaktor terlihat pada Gambar 8. Terlihat bahwa konsentrasi hidrogen berbanding terbalik dengan konsentrasi metana. Pada titik nol masih tidak ada hidrogen dikarenakan gas umpan hanyalah gas metana murni, dan belum bereaksi dengan katalis sehingga belum dihasilkan produk hidrogen. Namun seiring berjalannya reaksi, metana akan terkonversi dan salah satu produknya adalah hidrogen. Maka jumlahnya akan semakin besar seiring mengalirnya gas ke bagian *outlet gas* reaktor.

3.5 Deposit Karbon Untuk Space-Time 0,006 gr min/mL

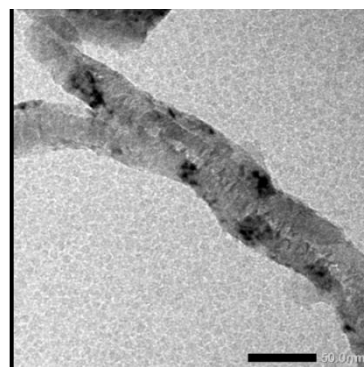
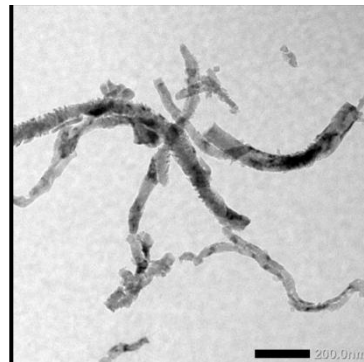
Gambar 9 menunjukkan hasil karakterisasi TEM untuk reaksi dekomposisi katalitik metana selama 5 jam pada suhu

gas pada lima titik yang berbeda di sepanjang reaktor. Profil konsentrasi metana dan konsentrasi hidrogen dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 8 Profil konsentrasi H₂ di dalam reaktor

700°C, tekanan 1 atm, *space time* 0,006 gr min/m.



Gambar 9. Hasil karakterisasi TEM untuk reaksi dekomposisi katalitik metana selama 5 jam pada suhu 700°C, tekanan 1 atm, *space time* 0,006 gr min/mL



Seminar Nasional Intergrasi Proses

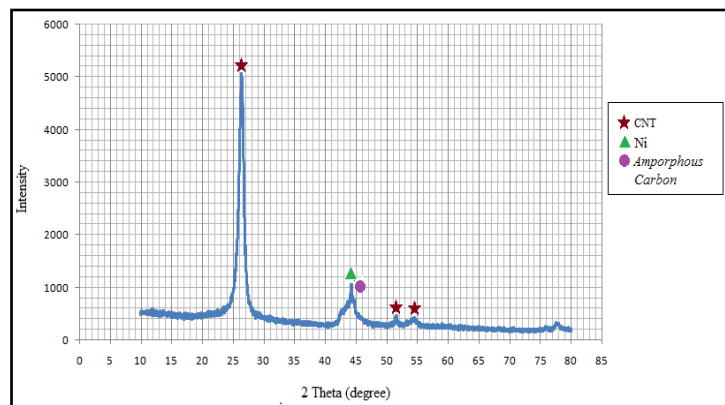
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Hasil TEM menunjukkan bahwa pada penelitan ini dihasilkan *carbon nanotube* dengan bentuk *Y-junction* dengan diameter dalam sebesar 7,5 – 15 nm dan diameter luar sebesar 37,5 – 85 nm.

Keberadaan CNT juga dianalisis melalui XRD yang hasilnya didapatkan pada Gambar 10. Hasil XRD menunjukkan bahwa di antara peak-peak terkuat terdapat tiga peak yang menandai adanya CNT yaitu pada sebesar 26; 34,05 ; 51,25 ; dan 54,5. Hal ini berarti karbon

yang terdeteksi merupakan *carbon nanotube*. Kemudian juga terdapat 2 peak berhimpit yaitu nikel dengan nilai 2 theta 44,3 dan karbon amorf pada nilai 2 theta 45. Hal ini sesuai dengan gambar TEM yang memperlihatkan masih ada partikel katalis yang bercampur dengan CNT. Peak CNT yang didapatkan juga merupakan peak dengan intensitas tertinggi di antara senyawa lainnya, yang berarti jumlahnya lebih banyak dibandingkan senyawa yang lain.



Gambar 10. Hasil XRD CNT untuk reaksi pada suhu 700°C dan space-time 0,006 gr min/mL

3.6 Kualitas Carbon Nanotube Terhadap Waktu Reaksi

Waktu reaksi yang menghasilkan kualitas CNT terbaik dilakukan dengan variasi waktu reaksi dekomposisi katalitik metana selain 5 jam reaksi, yaitu 20 menit, 1 jam, dan 2 jam. Kondisi operasi yang digunakan sama untuk setiap variasi, yaitu suhu 700°C, tekanan atmosfer, dan *space time* 0,006 gr min/mL. Gambar 11 merupakan perbandingan hasil TEM dari setiap waktu reaksi.

Gambar 11 (a) menunjukkan waktu reaksi 20 menit. CNT yang dihasilkan memiliki diameter dalam 10-30 nm dan diameter luar 30-50 nm. Pada waktu reaksi ini terlihat bahwa CNT yang dihasilkan juga lebih bersih dari pengotor. Inti aktif katalis yang belum membentuk CNT berjumlah relatif lebih sedikit.

Waktu reaksi 1 jam pada Gambar 14 (b) , CNT yang dihasilkan memiliki diameter dalam 2,5-50 nm dan diameter luar 40-120 nm. Pada

waktu reaksi 1 jam CNT yang dihasilkan memiliki jumlah pengotor yang lebih banyak dibandingkan saat 20 menit. Pengotor yang dimaksud berupa karbon berkualitas rendah seperti karbon amorf dan katalis yang belum bereaksi.

Waktu reaksi 2 jam pada Gambar 11 (c) , CNT yang dihasilkan memiliki diameter dalam 10-30 nm dan diameter luar 20-75 nm. Pertumbuhan CNT yang dihasilkan juga lebih banyak dibandingkan sebelumnya, namun jumlah pengotor juga bertambah banyak dibanding waktu reaksi 20 menit dan 1 jam. Selain itu juga terlihat karbon yang terbentuk adalah CNT tipe Y-Junction.

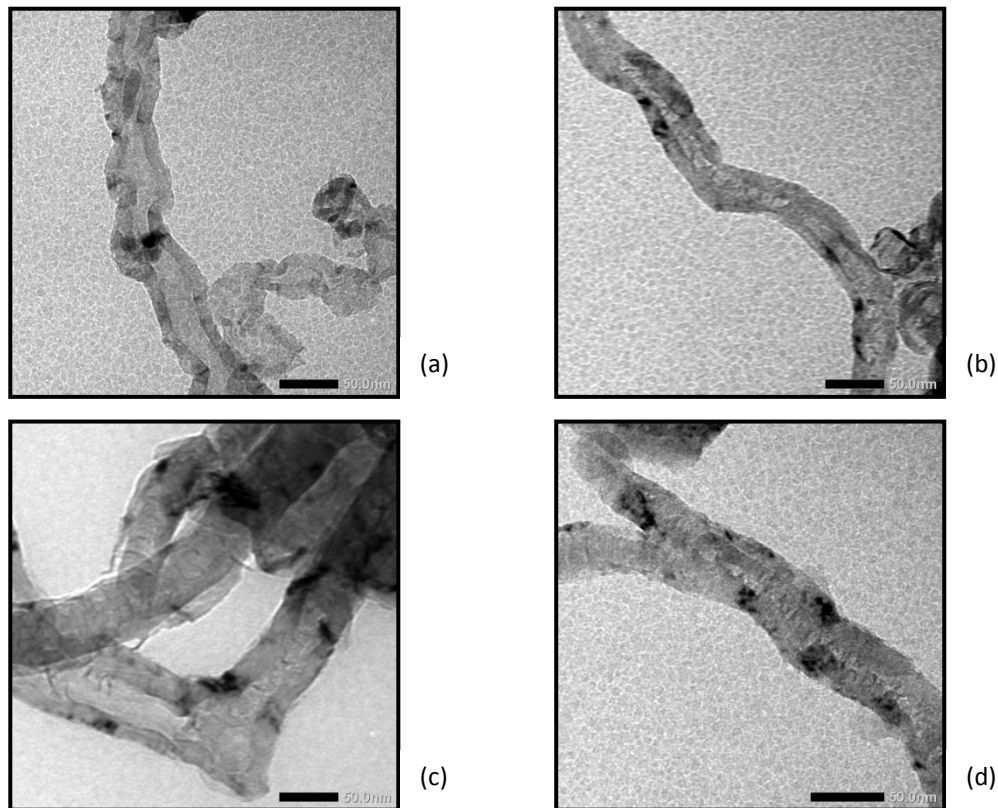
Pada Gambar 11 (d) menunjukkan hasil dari waktu reaksi 5 jam . CNT yang dihasilkan merupakan CNT bercabang atau CNT tipe Y-Junction, yang jika dilihat merupakan pertumbuhan lebih lanjut dari CNT yang terdapat pada waktu reaksi 2 jam. CNT pada waktu reaksi ini memiliki diameter dalam 7,5-15 nm dan diameter luar 37,5-85 nm.



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 11. Hasil karakterisasi TEM untuk reaksi dekomposisi katalitik metana selama 20 menit (a); 1 jam (b); 2 jam (c); dan 5 jam (d) pada suhu 700°C, tekanan 1 atm, *space time* 0,006 gr min/mL

Secara keseluruhan hasil TEM pada waktu reaksi yang berbeda-beda memberikan hasil waktu reaksi terbaik untuk mendapatkan CNT berkualitas baik pada penelitian ini adalah CNT pada waktu reaksi 20 menit. Waktu reaksi yang semakin panjang akan menghasilkan lebih banyak jumlah karbon. Meningkatnya waktu reaksi juga akan menambah jumlah pengotor dalam CNT yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu reaksi akan berakibat pada peningkatan jumlah karbon berkualitas rendah.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *space time* akan meningkatkan konversi reaksi dan kemurnian hidrogen. Pada *space time* 0,0006; 0,0032; dan 0,006 gr min/mL masing-masing dihasilkan konversi

metana dan kemurnian hidrogen tertinggi pada masing-masing adalah 63,26% dan 18,66%, 70,07% dan 66,38%, serta 70,23% dan 83,01%. Meningkatnya *space time* akan meningkatkan *yield* karbon dengan *yield* tertinggi berada pada saat *space time* 0,006 gr min/mL dengan *yield* 2,5 gr C/gr katalis.

Dari hasil TEM untuk kondisi operasi 700°C dan *space time* 0,006 gr min/mL, didapatkan *carbon nanotube* berbentuk Y-junction dengan ukuran diameter dalam 7,5 - 15 nm dan diameter luar 37,5 - 85 nm. Seiring mengalirnya gas keluar reaktor, konsentrasi metana akan semakin kecil karena habis untuk bereaksi dengan katalis, sedangkan konsentrasi hidrogen akan semakin besar karena merupakan produk dari dekomposisi. Waktu reaksi dekomposisi katalitik metana selama 20 menit menghasilkan kualitas CNT terbaik dengan jumlah pengotor yang lebih sedikit dan diameter yang cukup kecil yaitu



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

diameter dalam 10-30 nm dan diameter luar 30-50 nm.

4.2 Saran

Mencoba metode pelapisan katalis lain, seperti metode spray-coating, untuk mendapatkan *loading* katalis yang lebih besar. Melakukan uji spacetime yang lebih tinggi untuk mengetahui kinerja reaktor untuk *space time* lebih dari 0,006 gr min/mL. Mengecilkan jarak antar pelat atau menambah jumlah pelat agar aliran panas di dalam reaktor lebih merata. Menambah waktu reaksi untuk mengetahui untuk mengetahui tren konversi lebih lanjut.

5. ACKNOWLEDGMENT/UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana yang diberikan oleh Hibah Kluster Riset Universitas Indonesia Tahun Anggaran 2014 no 1716/H2.R12/HKP.05.60/2014.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ermakova, M., Ermakova, DY., Kurshinov (2000). "Effective Catalyst for Direct of Methane to Produce Hydrogen and Filamentous Carbon." *Applied Catalyst A : General* 201: 61-
- 71.Grujicic M., C. G., Gersten B. (2002). "An Atomic-Scale Analysis of Catalytically-Assisted Chemical Vapor Deposition of Carbon Nanotubes." *Materials Science and Engineering B*94:247-259.
- Hazzim F. Abbas&Daud, W. M. A. W. (2010). "Hydrogen production by methane decomposition: A review." *International Journal of Hydrogen Energy* 35: 1160-1190.
- Morancais A, C. B. (2007). "A Parametric Study of The large Scale Production of Multi-Walled Carbon Nanotubes by Fluidized Bed Catalytic Chemical Deposition." *Carbon* 45: 624 - 635.
- Muharam, Y., W.W Purwanto., and Afianty, A. (2007a). Production of Carbon Nanotubes and Hydrogen from Methane Decomposition in the Reaktor with a Structured Catalyst. 14th Regional Symposium of Chemical Enginnering (RSCE).
- Muradov, N. (2001a). "Thermocatalytic CO₂-free Production of Hydrogen from Hydrocarbon Fuels." *Proceedings of the DOE Hydrogen Program Review*.
- Muradov, N. (2001b). "Hydrogen via Methane Decomposition : An Application For Decarbonization of Fossil Fuels." *International Journal Hydrogen Energy* 26: 1165-1175.
- Praswasti PDK Wulan, W. W. P., Yuswan Muharam (2011). "The Effect Of Reaction Time To The Quality Of Hydrogen And Carbon Nanotubes Produced Through Catalytic Decomposition Of Methane." *Journal of Sustainable Energy and Environment (JSEE) Volume 2(Issue 1)*: pp 7-10
- Qian W, L. T. (2004). "Production of Hydrogen and Carbon Nanotubes From Methane decomposition in a Two Stage Fluidized Bed reaktor." *Applied Catalysis A General* 260: 223-228.
- Wang Y, W. F. (2007). "The Largescale Production of Carbon Nanotubes in a Nano-agglomerate Fluidized Bed Reaktor." *Chemical Physic Letters* 364: 568-572.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PRODUKSI HIDROGEN MELALUI METODA ELEKTROLISIS PLASMA PADALARUTAN KOH - METANOL

Nelson Saksono^{1*}, Iryandi, dan Setijo Bismo

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI- Depok 16424, Telp/Fax: (021)7863516

*Email : nelson@che.ui.ac.id

Abstrak

Gas hidrogen dapat diperoleh dari proses elektrolisis tetapi memerlukan energi listrik yang besar. Elektrolisis plasma adalah teknologi baru dalam meningkatkan produksi hidrogen sekaligus menekan kebutuhan listrik. Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh tegangan listrik, konsentrasi KOH dan metanol sebagai aditif dalam meningkatkan produksi hidrogen dan menekan konsumsi energi listrik. Selanjutnya dihitung efektivitas proses (G) yang dinyatakan sebagai jumlah produk hidrogen per satuan energi listrik yang dikonsumsi, elektrolisis plasma dibandingkan dengan efektivitas elektrolisis Faraday. Hasil percobaan menunjukkan kenaikan konsentrasi KOH dan tegangan listrik menyebabkan kenaikan jumlah produk hidrogen. Penambahan metanol 5 % vol pada 0,05 M KOH meningkatkan produksi hidrogen sebesar 38,9 % dan menekan konsumsi energi listrik sebesar 44,6 % sehingga nilai G meningkat hingga 84,9 %. Dari harga G yang didapat menunjukkan proses elektrolisis plasma dalam penelitian ini mempunyai efektivitas 27,29 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolisis Faraday.

Kata Kunci : Elektrolisis Plasma, Hidrogen, KOH, Metanol

Abstract

Hydrogen can be produced from the electrolysis process; yet, this process requires a large supply of electricity energy. Plasma electrolysis is new technology to both increase hydrogen production and reduce electricity needs. This research is addressed to investigate the effect of electricity voltage; and the effect KOH and methanol concentration as additives in terms of enhancing hydrogen production. Besides, this study is aimed to reduce electricity consumption. Process effectiveness (G) was calculated which indicates the ratio of hydrogen produced in the process of plasma electrolysis to the one obtained in the proses of Faraday electrolysis. As the result of the experiment, the increase of KOH concentration and electricity voltage gives the effect to the increase of hydrogen production. Addition of 5 vol% methanol to 0,05 KOH, in fact, increases the production of hydrogen up to 38,9% and reduces the consumption of electricity up to 44,6%. As the consequence, the value of G rises to 84,9%. This value indicates that the process of plasma electrolysis is 27,29 times more effective in comparison to the Faraday electrolysis.

Keywords: Plasma Electrolysis, Hydrogen, KOH, Methanol.

1. Pendahuluan

Proses elektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen sudah dikenal lebih dari satu abad yang lalu. dari air melalui proses elektrolisis sudah dikomersialisasikan

sejak tahun 1890 dimana air dipecah menjadi O₂ dan H₂ menggunakan arus listrik. Biaya produksi hidrogen dari proses elektrolisis air jauh lebih mahal dibanding proses konvensional menggunakan hidrokarbon



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

sebagai bahan baku disebabkan kebutuhan listrik yang tinggi untuk proses ini (Holladay, 2009).

Teknologi elektrolisis plasma adalah proses elektrolisis yang dilakukan pada tegangan yang cukup tinggi sehingga terbentuk bunga api listrik akibat adanya elektron yang mengalami eksitasi sehingga membangkitkan plasma pada larutan yang dielektrolisis. Plasma tersebut akan menghasilkan spesi-spesi reaktif dalam jumlah besar sehingga dapat meningkatkan pemutusan ikatan pada air dan mampu meningkatkan pembentukan hidrogen hingga 8 kali lipat dibanding proses elektrolisis biasa (Mizuno, 2003).

Pada penelitian ini plasma terbentuk pada media cair yang mengalami penjuanan yang ditandai munculnya gelembung gas hidrogen dalam proses elektrolisis plasma. Plasma akan terbentuk di kutub negatif (katoda) dimana katoda ditempatkan berdekatan dengan anoda untuk memperpendek lintasan elektron dari kutub positif menuju kutub negatif.

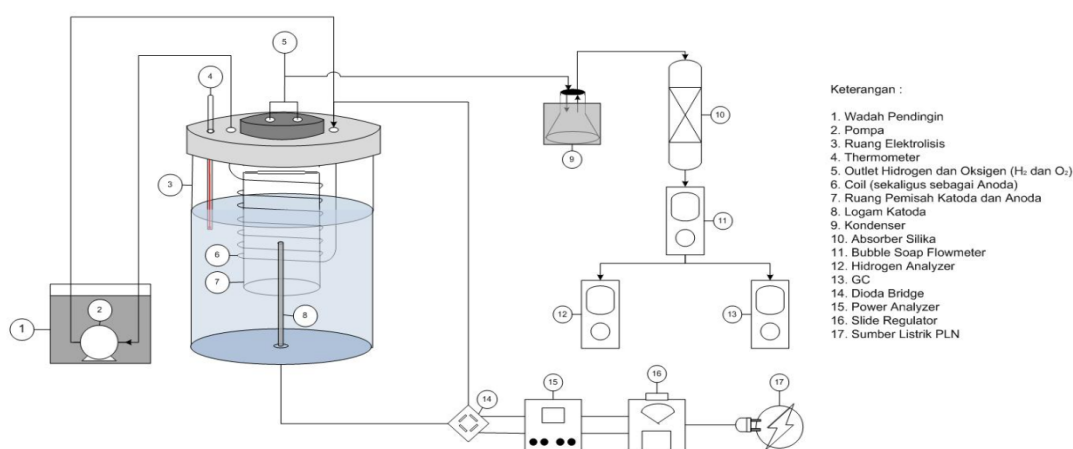
Penelitian ini menguji efektivitas proses elektrolisis plasma dalam menghasilkan gas hidrogen dengan penambahan bahan aditif metanol. Pengaruh variabel operasi (suhu reaktor, tegangan listrik dan konsentrasi larutan) terhadap kinerja proses juga akan

diamati guna mendapatkan kondisi optimum proses.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Reaktor yang digunakan adalah sistem *semibatch* berupa tabung akrilik yang dilengkapi sepasang elektroda beserta sumber tegangannya sebagai pembangkit plasma. Reaktor ini dilengkapi dengan sistem sirkulasi air pendingin yang dialirkan kedalam koil pendingin yang sekaligus berfungsi sebagai Anoda. Penambahan 0,01 – 0,05 M KOH bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan sementara penambahan aditif metanol bertujuan untuk meningkatkan produksi hidrogen.

Produk gas yang dihasilkan dari reaktor akan dilewatkan pada kondenser untuk pemisahan produk hidrogen dari uap air dan senyawa lain yang mudah terkondensasi. Tujuan utama penelitian ini adalah mendapatkan gas hidrogen dari larutan KOH dengan produksi H_2 yang tinggi dengan pengontrolan suhu dan tegangan listrik yang mencapai hingga 350 V. Pengukuran yang dilakukan meliputi jumlah dan komposisi gas yang dihasilkan. Konfigurasi rangkaian pembangkit tegangan tinggi, reaktor elektrolisis plasma, sistem pengendali suhu reaktor, sistem pemisahan uap air dari H_2 yang akan dianalisa, serta peralatan pengukuran produk H_2 dan kelistrikan ditunjukkan Gb 1 berikut:



Gambar 1. Skema lengkap eksperimen



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Efektifitas proses elektrolisis plasma dalam penelitian ini diukur dengan parameter perbandingan produksi hydrogen pada proses elektrolisis plasma dengan proses elektrolisis Faraday yang dinyatakan sebagai $G(H_2)$. Elektrolisis Faraday adalah jumlah maksimum hydrogen yang dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis konvensional. Produktivitas hydrogen sendiri adalah jumlah hydrogen yang dihasilkan dibagi jumlah konsumsi energi listrik yang dibutuhkan (mol/kJ). $G(H_2)$ dapat dirumuskan pada persamaan 1 sebagai berikut (Zong, 2009) :

$$G(H_2) = \frac{V_{H_2} / 24}{Q / 2F} = \frac{V_{H_2} \cdot F}{12Q} mol.mol^{-1}$$

Dengan Q , F , dan V_{H_2} berturut-turut adalah arus yang mengalir, konstanta Faraday, dan Volum H_2 .

Parameter selanjutnya yang digunakan untuk mengukur efektifitas proses adalah W_r yang didefinisikan sebagai energi yang dibutuhkan (kJ) untuk menghasilkan H_2 sebanyak 1 mmol. Penghitungan W_r menggunakan persamaan 2 sebagai berikut (Zong, 2008):

$$W_r = \left(\frac{V \cdot Q}{V_{H_2}} \frac{24}{1000} \right) kJ / mmol$$

Dengan Q , V , dan V_{H_2} berturut-turut adalah arus yang mengalir, tegangan listrik, dan Volum H_2 .

3. Hasil dan Pembahasan

Aspek fenomena pembentukan plasma pada larutan elektrolit dan pengaruh variabel operasi terhadap kinerja dan efektivitas proses akan dijelaskan sebagai berikut:

Fenomena pembentukan plasma

Pijaran plasma berwarna ungu pada larutan KOH terbentuk disekitar katoda seperti pada Gb 2.a. dikarenakan adanya eksitasi elektron dari ion kalium (Mizuno, 2003). Penambahan aditif metanol pada larutan KOH menyebabkan warna pijaran

plasma menjadi putih kebiruan (Gb 2.b), hal ini disebabkan adanya ion hidrokarbon dimana atom karbon bila tereksitasi akan memancarkan warna biru-putih (Barros, 2008).



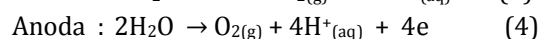
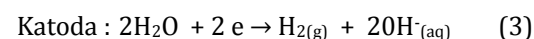
(a)



(b)

Gambar 2. (a) Warna ungu plasma larutan KOH (b) Warna putih biru plasma Larutan KOH-Metanol

Proses elektrolisis plasma selalu diawali dengan proses elektrolisis guna penjumlahan larutan oleh gas hydrogen disekitar katoda. Persamaan reaksi redoks elektrolisis ditunjukkan pada persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:



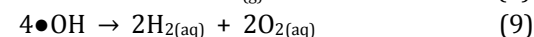
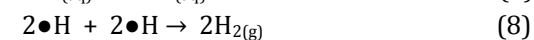
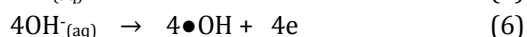
Reaksi elektrolisis ini bersifat endotermis, dimana jumlah H_2 dan O_2 yang dihasilkan berbanding lurus dengan muatan listrik yang diberikan (Hukum Faraday). Terbentuknya plasma pada reaksi elektrolisis plasma menyebabkan terbentuk spesi-spesi metastabil dari ion-ion H^+ dan OH^- yang masih terlarut dalam larutan menjadi radikal $\bullet H$ dan $\bullet OH$ dan selanjutnya akan membentuk H_2 dan O_2 . Hal ini menyebabkan laju produksi H_2 meningkat seperti yang akan ditunjukkan pada persamaan 5, 6, 7, 8, dan 9 sebagai berikut (Saksono, 2010) :



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Tegangan yang diberikan pada larutan akan menentukan waktu mulai munculnya plasma (waktu elektrolisis) dan ukuran plasma. Tabel 1 menunjukkan semakin tinggi

tegangan yang diberikan, maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mulai terbentuknya plasma. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada tegangan tinggi maka arus yang terbentuk pada larutan juga besar, sehingga penjuanan larutan oleh hidrogen dari proses elektrolisis lebih cepat tercapai. Proses elektrolisis bersifat eksotermis oleh sebab itu peningkatan waktu elektrolisis akan menyebabkan naiknya suhu larutan (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh tegangan terhadap waktu pembentukan plasma

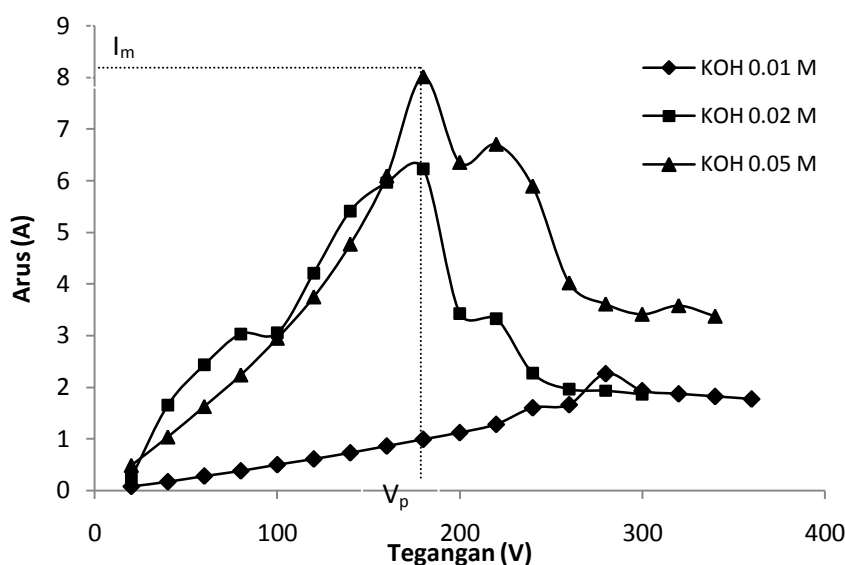
Tegangan (V)	Waktu elektrolisis (detik)	Suhu mulai terbentuk Plasma (°C)	Ukuran plasma
150	67	66	Kecil
180	39	51	Sedang
225	31	50	Cukup besar
240	24	49	Besar

Tegangan yang tinggi menyebabkan semakin banyak elektron yang dapat tereksitasi sehingga ukuran plasma yang terbentuk bertambah. Tabel 1 menjelaskan bahwa proses elektrolisis plasma baru bisa terbentuk setelah proses elektrolisis, yaitu terjadi penjuanan larutan oleh gas hidrogen dan uap air yang menyebabkan tahanan dalam larutan menjadi semakin tinggi. Hal tersebut akan memaksa elektron berenergi

tinggi untuk langsung meloncat dari katoda menuju anoda melalui media gas yang terionisasi (plasma).

Kurva Arus terhadap tegangan

Gambar 3 menunjukkan profil arus terhadap tegangan pada berbagai konsentrasi larutan. Ketika tegangan dinaikkan, maka arus akan meningkat hingga mencapai arus



Gambar 3. Profil Arus-Tegangan listrik pada Elektrolisis Plasma



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

maksimum (I_m). Zona ini kita sebut sebagai Zona elektrolisis. Jika tegangan terus dinaikkan maka akan terjadi fluktuasi arus dengan trend menurun. Zona ini kita sebut sebagai zona Elektrolisis Plasma. Tegangan yang terjadi pada saat arus maksimum disebut tegangan plasma (V_p), yaitu tegangan dimana plasma mulai terbentuk pada larutan. Harga V_p akan menurun dengan bertambahnya konsentrasi larutan KOH. Kenaikan tegangan Setelah V_p menyebabkan plasma semakin membesar dan arus semakin menurun. Hal tersebut berdampak pada meningkatnya produksi H_2 , sementara konsumsi energi peningkatannya relatif kecil.

Terjadi penurunan I_m dan kenaikan V_p dengan menurunnya konsentrasi larutan KOH menunjukkan plasma lebih sulit terbentuk pada konsentrasi rendah.

Pengaruh Tegangan Listrik

Kenaikan tegangan listrik menyebabkan intensitas dan ukuran plasma meningkat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Tegangan listrik yang tinggi menyebabkan semakin banyak elektron yang dapat tereksitasi sehingga akan meningkatkan terbentuknya spesies radikal $\bullet H$ dan $\bullet OH$ yang selanjutnya akan membentuk H_2 dan O_2 seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5, 6, 7, 8, dan 9. Hipotesis tersebut didukung oleh Tabel 2. yang menunjukkan peningkatan tegangan menyebabkan peningkatan produksi hidrogen. Peningkatan tegangan akan

berpengaruh pada peningkatan kerapatan elektron dan proses eksitasinya sehingga akan lebih banyak gas hidrogen yang dihasilkan pada dekomposisi air (Zongcheng Yan, 2009). Mizuno (2003) mendapatkan kenaikan tegangan akan menaikkan rasio H_2 dan O_2 , sehingga meningkatkan produksi hidrogen.

Tabel 2 menunjukkan semakin tinggi tegangan listrik maka akan semakin tinggi nilai rasio $G(H_2)$ dan produksi hidrogen yang diperoleh, artinya nilai $G(H_2)$ dan produksi hidrogen berbanding lurus dengan besarnya tegangan listrik. Selain itu dengan bertambahnya tegangan listrik maka akan menurunkan konsumsi energi listrik (W_r), artinya konsumsi energi listrik berbanding terbalik dengan besarnya tegangan listrik. Menurunnya harga W_r dari 1,48 kJ/L pada 250 V menjadi 0,03 kJ/L pada 350 V lebih disebabkan oleh meningkatnya produksi H_2 hingga 48 kali lipat. Peningkatan tegangan sangat signifikan dalam menaikkan ukuran dan intensitas plasma yang terbentuk. Plasma yang besar dan terang akan mendorong peningkatan produksi H_2 hingga puluhan kali lipat. Efektivitas proses ($G(H_2)$) tertinggi sebesar 27,29 dicapai pada tegangan 350 V (Tabel 2). Hal ini menunjukkan proses elektrolisis plasma dengan aditif metanol pada percobaan ini mampu menghasilkan gas Hidrogen hingga 27 kali lebih besar dibanding proses elektrolisis Faraday untuk konsumsi energi listrik yang sama.

Tabel 2. Laju produksi Hidrogen (mmol/menit), konsumsi listrik per liter produk H_2 (W_r), dan efektivitas proses ($G(H_2)$), sebagai fungsi tegangan pada larutan KOH 0,05 M dan 5 % Metanol

Tegangan (Volt)	Laju produksi H_2 (mL/detik)	W_r (kJ/L)	Efektivitas Proses ($G(H_2)$)
250	0,17	1,48	0,36
300	0,52	0,52	1,61
350	8,12	0,03	27,29

Pengaruh Konsentrasi KOH

Bertambahnya konsentrasi KOH menyebabkan bertambahnya jumlah ion pada larutan sehingga meningkatkan konduktivitas larutan. Gao (2008) mendapatkan adanya

peningkatan pembentukan radikal H dan OH dengan meningkatnya konduktivitas larutan. Hasil pengamatan menunjukkan pada tegangan yang sama, kenaikan konsentrasi KOH menyebabkan



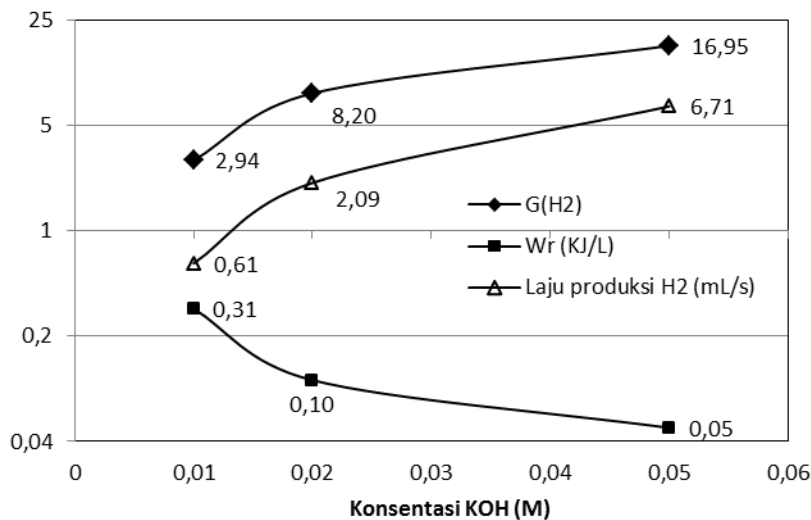
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

ukuran dan intensitas cahaya plasma meningkat. Hal tersebut menunjukkan telah terjadi peningkatan jumlah plasma yang terbentuk sehingga mengakibatkan meningkatnya produksi H_2 . Hasil pengamatan dalam penelitian ini mendapatkan bahwa Konduktivitas yang tinggi mengakibatkan

arus meningkat, sehingga konsumsi listrik meningkat dengan meningkatnya konsentrasi KOH. Namun Peningkatan H_2 jauh lebih tinggi dibanding peningkatan konsumsi listrik sehingga harga W_r menurun dan meningkatkan efektivitas proses $G(H_2)$ seperti yang ditunjukkan Gb 4.



Gambar 4. Grafik Efektivitas proses ($G(H_2)$), Produksi Hidrogen, dan W_r pada 350 V Sebagai Fungsi Konsentrasi larutan KOH

Pengaruh Penambahan Metanol

Elektrolisis plasma yang menggunakan larutan KOH adalah larutan yang digunakan sebagai dasar dari percobaan ini. Hal ini karena kalium tidak terurai selama proses elektrolisis plasma ini, berbeda dengan natrium (Ph. M. Kanarev. et al., 2003) sehingga peran KOH dalam meningkatkan konduktivitas listrik larutan tidak berkurang selama reaksi. Penambahan metanol sebagai aditif ditujukan untuk meningkatkan produksi hidrogen karena larutan tersebut berfungsi menyumbangkan spesi-spesi aktif $H\bullet$ dan $OH\bullet$ yang nantinya akan mendorong pemutusan ikatan dalam dekomposisi air Zongcheng, et al (2008). Teknologi elektrolisis plasma dengan menggunakan larutan metanol menghasilkan efisiensi yang tinggi untuk memproduksi hidrogen dengan emisi gas CO & CO_2 yang rendah. Penambahan metanol pada suatu larutan elektrolit menyebabkan terbentuknya ion positif berupa H^+ , $CH_3CH_2OH^+$, $CH_3CH_2^+$, $CH_2CH_2OH^+$, CH_3OH^+ ,

CH_2OH^+ (Zhong, 2008). Spesies ion tersebut dapat meningkatkan produksi H_2 dalam proses elektrolisis plasma. Tabel 3 menunjukkan penambahan 5 % vol metanol meningkatkan laju produksi H_2 hingga 400 persen dan menurunkan W_r lebih dari 500 %. Hasil pengamatan menunjukkan penurunan harga W_r dengan adanya penambahan metanol lebih disebabkan oleh meningkatnya laju produksi H_2 , sementara konsumsi energi listrik tidak banyak mengalami perubahan. Peningkatan efektivitas proses $G(H_2)$ mencapai hingga 500 persen.

Metanol berfungsi sebagai inisiator dalam pembentukan radikal aktif sehingga energi aktivasi untuk pemutusan ikatan H_2O menjadi lebih rendah. Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa penambahan aditif metanol 5% meningkatkan produksi Hidrogen hingga sampai 1.6 kali dibanding tanpa penambahan aditif. Penambahan metanol akan mempengaruhi kinerja proses sehingga membuat peningkatan nilai produksi dan $G(H_2)$. Nilai



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

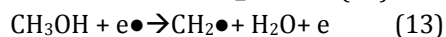
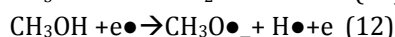
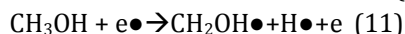
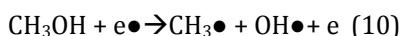
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

GH₂ terbaik pada penelitian ini adalah pada elektrolisis plasma dengan menggunakan larutan KOH 0,05 M dengan penambahan metanol 5% (%v) dan pada tegangan listrik 350 V yang besarnya mencapai 27,29.

Tabel 3. Kinerja proses elektrolisis plasma dengan penambahan metanol pada 0,05 M KOH dan tegangan 350 V

Jenis Larutan	KOH		0,005 M KOH + metanol
	0,05 M KOH	0,005 M KOH + 2% metanol	
Produksi Hidrogen (mmol/menit)	15,66	16,88	21,76
Konsumsi Energi (KJ/L)	0,056	0,045	0,031
GH ₂ (mol/mol)	14,76	18,65	27,29
Konsentrasi CO (%mol)	-	0,113	0,274
Konsentrasi CO ₂ (%mol)	-	-	0,079

Elektrolisis plasma dengan menggunakan penambahan larutan metanol selain menghasilkan produk berupa gas hidrogen dan oksigen juga menghasilkan produk lain. Hal tersebut disebabkan oleh mekanisme dekomposisi dari penambahan larutan metanol tersebut tidak hanya melibatkan radikal H• dan OH• tetapi juga melibatkan radikal lain yang dapat dilihat pada Persamaan 10 sampai 16 berikut (Zong, et al 2008):



Mekanisme dekomposisi metanol pada elektrolisis plasma menunjukkan ion positif yang paling banyak dihasilkan pada ionisasi molekul metanol adalah H⁺, CH₃CH₂OH⁺,

CH₃CH₂⁺, CH₂, CH₂OH⁺, CH₃OH⁺, CH₂OH⁺ (Zongcheng, et al 2008).

Tabel 3 menunjukkan bahwa dihasilkan produk gas lain selain H₂ dan O₂ yaitu hidrokarbon CO dan CO₂. Pada penambahan metanol 2 % dihasilkan gas CO sebesar 0,113 % dan tidak terdeteksi adanya CO₂ sedangkan pada penambahan metanol 5% terlihat peningkatan jumlah CO yang dihasilkan sebesar 0,274% dan juga dihasilkan CO₂ sebesar 0,079%.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mempelajari pengaruh tegangan listrik, konsentrasi KOH dan aditif Metanol terhadap laju produksi hidrogen, konsumsi energi (Wr) dan efektifitas proses G(H₂). Kenaikan tegangan listrik dan konsentrasi KOH meningkatkan laju produksi hidrogen dan G(H₂) sementara harga Wr menurun dengan kenaikan tegangan listrik dan konsentrasi KOH.

Penambahan metanol 5 % vol pada 0,05 M KOH meningkatkan produksi hidrogen sebesar 38,9 % dan menekan konsumsi energi listrik sebesar 44,6 % sehingga nilai G meningkat hingga 84,9 %. Dari harga G yang didapat menunjukkan proses elektrolisis plasma dalam penelitian ini mempunyai efektivitas 27,29 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolisis Faraday.

Acknowledgement / Ucapan Terima kasih

Penelitian ini sebagian didanai oleh Hibah Strategis Nasional Direktorat pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Republik Indonesia Tahun Anggaran 2014

Daftar Pustaka

Barros, Sam. Power Labs Plasma Globes Page.

<http://www.powerlabs.org/plasmaglobe.htm>. Diakses 18 Agustus 2014.

Gao Jinzhang, et al., (2008), "Analysis of Energetic Species Caused by Contact Glow Discharge Electrolysis in Aqueous Solution", Plasma Science and Technology, Vol.10, No.1. Holladay, J.D., J.



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Hu., D.L. King, Y. Wang., (2009), "An Overview of Hydrogen Production Technologies", *Catalysis Today* 139 (2009) 244–260.
- Kanarev, Phillip M. and Tadahiko Mizuno (2003), "Cold Fusion by Plasma Electrolysis of Water", Krasnodar.
- Mizuno, T., T. Akimoto, and T. Ohmori. (2003), "Confirmation of Anomalous Hydrogen Generation By Plasma Electrolysis", in 4th Meeting of Japan CF Research Society, Iwate, Japan: Iwate University.
- Saksono, Nelson., Bagus, S U., Setidjo Bismo., (2010), "Rancang bangun sistem produksi hidrogen melalui proses elektrolisis plasma non-termal" *Proceeding Seminar rekayasa proses, UNDIP, Semarang.*
- Saksono, Nelson., Jaenal Abidin., Setidjo Bismo., (2010) "Hydrogen production system design through plasma non-termal electrolysis process" *International Seminar on Fundamental & Application Of Chemical Engineering, Bali.*
- Zong Cheng Yan., Li, C., Wang Hong Lin W H. (2009), *Hydrogen Generation by Glow Discharge Plasma Electrolysis of Methanol Solutions. International Journal of Hydrogen Energy*, vol 34 pp : 48 – 55.
- Zong Chen Yang., Li, C., Wang Hong Lin W H., (2008), "Hydrogen generation by glow discharge plasma electrolysis of ethanol solutions", *College of Chemical and Energy Engineering, South China University of Technology, Guangzhou*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENGARUH SURFAKTAN TERHADAP STABILITAS BAHAN BAKAR ALTERNATIF COAL-OIL MIXTURES

Nufus Kanani^{1*}, Bardi Murrachman², Budhijanto²

¹Jurusan Teknik kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman Km 3 Cilegon Banten (42435), Telp. 0254-395502, 0254-372261, Fax 0254-395502

²Jurusan Teknik kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta (55281), Telp. 0274-902171

*E-mail: nufuskanani@yahoo.com

Abstrak

Coal-Oil Mixtures (COM) merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang telah lama diterapkan di industri, namun ada satu faktor yang menjadi masalah pada *Coal-Oil Mixtures* yaitu batubara dapat mengendap dan terpisah dari minyak, padahal kita menginginkan agar terjadi kestabilan antara campuran minyak dan batubara. Campuran batubara dan minyak terpisah dan membentuk lapisan batubara dan minyak. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan berat jenis antara batubara dan minyak. Untuk menjaga kestabilan campuran agar tidak terjadi pengendapan, selain ukuran partikel dibuat sangat kecil, juga ditambahkan surfaktan sebagai suatu senyawa yang berfungsi untuk mencegah terjadinya aglomerasi dari partikel batubara, sehingga dapat menstabilkan campuran tersebut. Pada penelitian ini dikembangkan metode untuk pengkajian tentang stabilitas bahan bakar alternatif *Coal-Oil Mixtures* yang ditunjukkan dengan tingginya penurunan partikel batubara terhadap tinggi cairan total (h/L) pada *Coal-Oil Mixtures* dengan menggunakan partikel batubara berdiameter 0.149 mm, berat surfaktan antara 0.4-1 gram serta rasio berat batubara:minyak 0.25. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah surfaktan yang diberikan maka stabilitas bahan bakar alternatif *Coal-Oil Mixtures* yang dihasilkan semakin baik. Kestabilan tertinggi diperoleh pada berat surfaktan sebanyak 1 gram.

Kata kunci: Batubara, *Coal-Oil Mixtures*, Surfaktan

Abstract

Alternative fuel oil of Coal-oil mixtures (COM) has been investigated and implemented in the company, but the difference density of coal particles and oil can caused the problem of using this COM, the coal particle is separated from the oil and unstability of this COM occurs. To keep the stability of this COM, the coal particle is made in very small size and surfactant is added in the mixtures to avoid the agglomeration of coal particle so the stability of COM can be obtained. This study presents the method for assessment of the stability of Coal-Oil mixtures as an alternative fuel oil by measuring the decrease of particle height to total height of mixtures (h/L) using 0.149 mm in particle size, 0.4-1 gr of surfactant weight and 0.25 in coal: oil ratio. From the experiment show that the more surfactant adding the more stable of mixtures can get. The highest stability of mixtures is reached by adding 1 gr of surfactant weight.

Key words : Coal, *Coal-Oil Mixtures*, surfactants



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

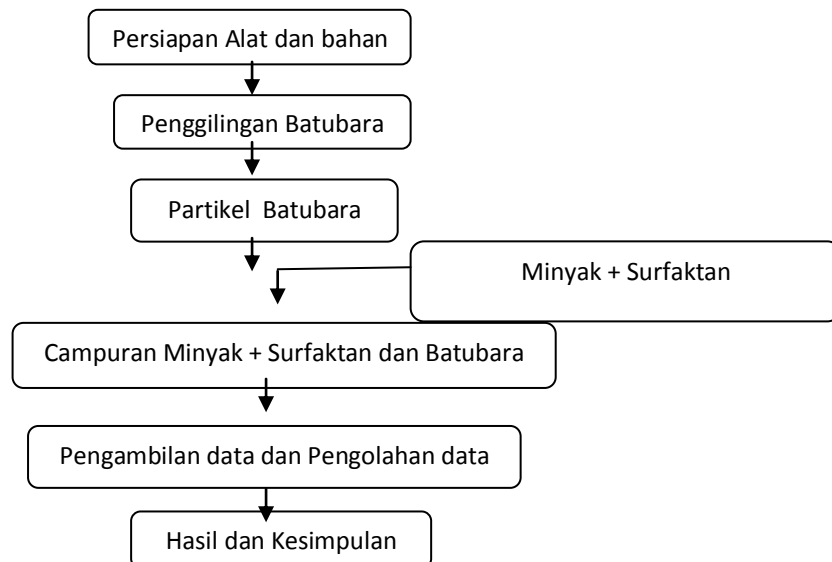
Sumber daya energi merupakan salah satu faktor penting yang dapat mendukung perkembangan suatu Negara. Batubara adalah salah satu sumber daya energi yang cukup melimpah di Indonesia.

Saat ini, batubara di Indonesia bukan hanya merupakan komoditi ekspor penghasil devisa negara tetapi juga mulai dimanfaatkan sebagai sumber energi pengganti minyak dan gas bumi yang ketersediaannya semakin hari semakin menyusut. Salah satu cara yang digunakan untuk mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan energi di masa yang akan datang adalah pengembangan bahan bakar non-konvensional seperti biomassa, gasifikasi arang, *bricket*, dan pengenceran

ataupun pembuatan *slurry* dari batubara menggunakan *Coal-Oil Mixture* (COM) (Roila, 2009). Dalam penelitian ini metode yang ingin dikembangkan adalah pengkajian tentang pengaruh surfaktan terhadap stabilitas bahan bakar alternatif *Coal-Oil mixtures* yang ditunjukkan dengan tingginya penurunan partikel batubara terhadap tinggi cairan total (h/L) pada *Coal-Oil mixtures*.

2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini antara lain: batubara, minyak goreng bekas dan *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS). Sedangkan untuk kerangka penelitiannya dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Batubara digiling dengan menggunakan gilingan, kemudian di ayak menggunakan *screener*. Pada penelitian ini digunakan sampel batubara dengan ukuran diameter 0.149 mm. *Alkylbenzene sulfonates* (ABS) dimasukkan dalam gelas ukur dicampur dengan Minyak bekas lalu diaduk sampai homogen selama ± 5 menit. Setelah *Alkylbenzene sulfonates* (ABS) dan minyak tercampur lalu batubara dimasukkan dalam campuran tadi, kemudian gelas ukur ditutup lalu campuran tadi diaduk sampai terbentuk campuran yang homogen antara minyak,

surfaktan dan batubara kemudian diukur penurunan dari partikel batubara setiap 6 menit pada campuran minyak, batubara dan surfaktan yang telah tercampur secara homogen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan berat surfaktan yaitu 0.2-1.0 gram dengan harapan mendapatkan kondisi operasi yang terbaik yaitu kondisi paling stabil dimana penurunan partikel dalam campuran yang diperoleh sangat kecil.

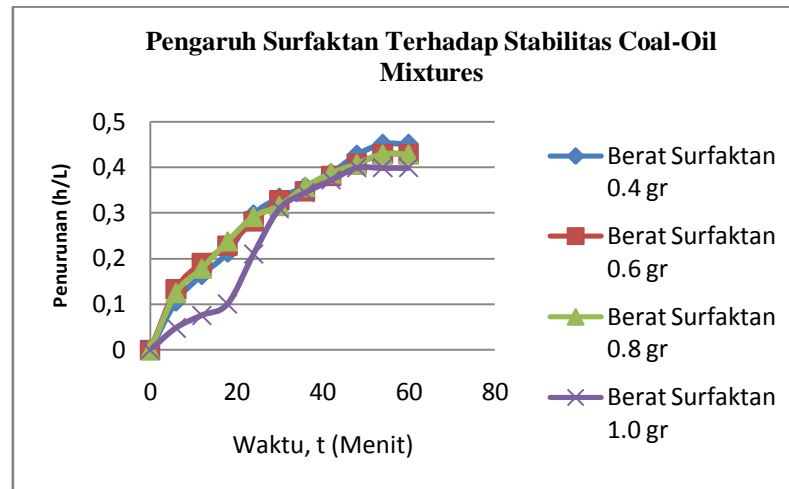


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Berikut adalah grafik pengaruh berat surfaktan terhadap stabilitas COM yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan.



Gambar 2. Hubungan antara waktu dan penurunan partikel batubara pada variasi berat surfaktan.

Dari hasil pengamatan tersebut terlihat bahwa penurunan sangat dipengaruhi oleh banyaknya jumlah surfaktan yang ditambahkan pada campuran *coal-oil mixtures*, yaitu pada rasio berat batubara:minyak yang sama (0.25) serta ukuran diameter juga sama (0.149 mm), semakin banyak jumlah surfaktan yang ditambahkan pada campuran batubara dan minyak (*Coal-Oil Mixtures*) maka akan semakin lambat penurunan dari partikel batubara dalam campuran tersebut. Dari tabel dan grafik diatas dapat terlihat bahwa penurunan paling rendah (h/L) terjadi pada penambahan jumlah surfaktan yang paling banyak yaitu pada penambahan jumlah surfaktan sebanyak 1.0 gram sebesar 0.39 selama selang waktu 48 menit. Hal ini disebabkan karena pada penambahan jumlah surfaktan yang tinggi, dalam hal ini adalah 1.0 gram maka berarti juga semakin banyak partikel batubara yang terbasahi oleh surfaktan sehingga sangat kecil kemungkinan untuk terjadinya penggumpalan atau aglomerasi dari partikel batubara pada campuran tersebut. Jika terjadi penggumpalan atau agglomerasi dari partikel batubara maka dapat menyebabkan perubahan ukuran partikel membentuk ukuran partikel batubara

dengan diameter yang lebih besar yang berarti juga berdasarkan Hukum Stoke's dengan semakin besarnya ukuran partikel maka akan semakin cepat juga penurunan dari partikel batubara jika dibandingkan dengan partikel batubara dengan ukuran diameter yang lebih kecil.

Fenomena lain yang dapat diamati dari grafik diatas adalah dengan menambahkan sejumlah surfaktan dapat membantu menjaga kestabilan dari campuran batubara dan minyak karena fungsi dari surfaktan pada sistem ini adalah sebagai zat pembasah pada partikel batubara sehingga dapat mencegah terjadinya proses penggumpalan atau *agglomeration* dari partikel batubara yang dapat membentuk butiran batubara dengan diameter yang lebih besar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan sejumlah surfaktan pada COM dapat berpengaruh pada kestabilan campuran tersebut, dimana semakin banyak jumlah surfaktan yang ditambahkan maka semakin stabil campuran yang dihasilkan.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

5. DAFTAR PUSTAKA

- Asthary, R., 2007, Teknologi Gasifikasi Batubara.
- Awang, R., and Yuen M.C, 2009,"Charcoal-Oil Mixture as an Alternative Fuel", Malaysia.
- Brown, G.G., 1950, "Unit Operation", Modern Asia ed., Mc. Graw Hill International Book Company, Tokyo.
- De Nevers,N., 1970,"Fluid Mechanic",p.379, Addison Wesley Publishing Co., Utah.
- Dewan Riset Nasional, 2006,"Agenda Riset Nasional 2006-2009", Jakarta
- Foust, A.S., 1980, "Principles of Unit Operation", John Wiley and Sons, New York.
- Gunawan, S., 2008,"Minyak Goreng", NTUST Indonesian Student Assosiation".
- Hiroya, O., and Ihara, H.,1982,"Coal-Oil Mixture", U.S. Patent No. 4.309.191.
- Jatmika, A., 1998. Aplikasi Enzim Lipase dalam Pengolahan Minyak Inti Sawit Untuk Produk Pangan.
- Ketaren, S. ,1986,"Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan", UI Press, Jakarta.
- Kemp, P.C., and Lyons, W.,1987,"Stabilized Coal Oil Mixtures", U.S. Patent No. 4.711.643.
- Kirk, R.E., and Othmer, D.F., 1957,"Encyclopedia of Chemical Technology", Vol 6, 3rd Ed, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Louis, J., 2002,"Surfactants Types and Uses", Laboratory of formulation, interfaces, rheology and processes, Venezuela.
- Moechtar, 1989,"Farmasi Fisika Bagian Larutan dan Sistem Dispersi:, Gajah Mada University press, Yogyakarta.
- Perry. R.H., Green.D.W., 1999,"Chemical Engineer's hand book" 7th Ed, Mc. Graw Hill, New York.
- Pratama, M. A., 2002,"Penuunan Kadar Deterjen pada Limbah Cair Laundry dengan Menggunakan Reaktor Biosand Filter yang diikuti Reaktoe Activated Carbon",Yogyakarta.
- Purba, Michael., 2006,"Kimia Untuk SMA Kelas X", Jakarta.
- Pusdatin ESDM, 2007,"Key Indicator of Indonesia Energy and Mineral Resources", CDI-EMR, Jakarta.
- Putri, N.P., 2009,"Desulfurisasi Batubara dengan Senyawa Hipoklorit Secara Leaching", Tesis diajukan pada Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Rowel, R.L., Amherst., Vasconcellos, S. R., 1980,"Coal-Oil Composition", U.S. Patent No. 4.201.552.
- Setyana, Eka., 1998,"Pengaruh Konsentrasi dan Ukuran Butir Terhadap Sifat-Sifat Hidrodinamika Campuran Batubara, Air dan Etanol", Laporan Penelitian Teknik Kimia, UGM, Yogyakarta.
- Smooth, L.D., and Smith, P.J., 1985,"Coal Combustion and Gasification", New York.
- Soegiarto, 1980,"Diktat Kuliah Azas Teknik Kimia", Pusat Penerbitan FT UGM, Yogyakarta.
- Ssiti, S.R., 2005,"Kajian Zonasi Daerah Potensi Batubara untuk Tambang dalam Provinsi Kalimantan Selatan Bagian Tengah".
- Supriyona, 2005,"Pembakaran Terfluidisasi Batubara dengan Menggunakan Campuran LPG-Udara", Tesis diajukan pada Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Yoo, J.S., and Flossmoor, 1984,"Process for Forming Stable Coal-Oil Mixtures", U.S. Patent No. 4.448.585.



PENGARUH WAKTU REKARBONISASI DAN VARIASI BINDER PADA PEMBUATAN BRIKET KOKAS

Erlina Yustanti^{1*}, Mutiara Aghniya¹, Marta Pramudhita²

¹ Jurusan Teknik Metalurgi FT.Untirta

² Jurusan Teknik Kimia FT.Untirta

Jl.Jenderal Sudirman KM 03 Cilegon Banten 42435

*Email: erlina.yustanti@ui.ac.id

Abstrak

Indonesia salah satu negara yang mengkonsumsi kokas dalam jumlah tinggi, namun untuk keperluan industri peleburan besi dan baja masih mengimpor dari luar negeri seperti Jepang, China dan Taiwan. Cadangan batubara di Indonesia 65% dikategorikan sebagai batubara muda jenis *non-coking coal* yang belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan alasan tersebut diperlukan pengembangan batubara jenis *non-coking coal* sebagai bahan baku industri metalurgi melalui metode *coal blending*. *Blending* batubara dilakukan dengan pencampuran lignit dan *coking coal* dengan komposisi tertentu untuk mendapatkan kekuatan kokas yang memenuhi standar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui indeks kekuatan kokas dan nilai kalori briket kokas. Pengujian kekuatan kokas dilakukan untuk mengetahui kekuatan dinamis kokas dengan diputar dalam *I-type tumbler test*. Untuk membuat briket kokas pada awalnya kedua batubara *coking coal* dan lignit dilakukan preparasi pada ukuran butir -40# mesh berjumlah 60%wt dan -60# mesh berjumlah 40% wt, dilanjutkan karbonisasi awal batubara lignit pada temperatur 1000 oC selama 4 jam dan *blending* batubara *coking coal* dan lignit pada perbandingan (80-20) % dengan penambahan binder *recovered oil* (9, 12, 15) wt% dan *additive damdex* 8% wt, kemudian dilakukan *briquetting* dengan tekanan 150 kg/cm². Selanjutnya variasi waktu rekarbonisasi pada temperatur 1000 oC selama 2, 3, dan 4 jam untuk menghasilkan briket kokas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalori lignit meningkat setelah karbonisasi awal dari 5.605 kal/g menjadi 7.232 kal/g. Dari penelitian ini berhasil dibuat briket kokas dengan nilai indeks kekuatan maksimum mencapai 96,064% pada penggunaan binder 12% dan waktu rekarbonisasi selama 4 jam. Sedangkan nilai kalori tertinggi sebesar 6650 kal/g dicapai pada komposisi binder 9% dengan waktu rekarbonisasi selama 4 jam.

Kata kunci: binder, *coal blending*, indeks kekuatan kokas, nilai kalori.

Abstract

Indonesia is one of the countries that consume high amounts of coke, but for the purposes of the iron and steel smelting industry was importing from overseas such as Japan, China and Taiwan. Coal reserves in Indonesia 65% categorized as lignite types of *non-coking coal* is not used optimally. For these reasons the development of coal required type of *non-coking coal* as raw materials metallurgical industry through *coal blending* method. *Blending* is done by mixing lignite coal and *coking coal* with a specific composition to obtain the strength of coke that meet the standards. The purpose of this study was to determine the index of the strength of coke and coke briquettes calorific value. Coke strength testing was conducted to determine the dynamic strength of coke with playing in the *I-type tumbler test*. To make coke briquettes initially both *coking coal* and lignite coal preparation performed at -40 # mesh particle size was 60 wt% and -60 # mesh



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

amounted to 40 wt%, followed by the beginning of lignite coal carbonization at a temperature of 1000 °C for 4 hours and blending of coal coking coal and lignite in comparison (80-20)% with the addition of binders recovered oil (9, 12, 15) wt% and 8 wt% additive damdex, briquetting then performed with a pressure of 150 kg / cm². Furthermore, the time variation in the temperature of 1000 °C recarbonization for 2, 3, and 4 hours to produce coke briquettes. The results showed that the calorific value of lignite increased after the initial carbonization. From this study successfully created coke briquettes with maximum strength index value reached 96.064% at 12% use of binders and recarbonization time for 4 hours. While the highest calorific value of 6650 cal/g, the binder composition of 9% by the time recarbonization for 4 hours.

Keywords: binder, calorific value, coal blending, strength index value

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur, *real estate* dan industri automobil menyebabkan kebutuhan besi-baja di dunia semakin meningkat. Sebagai mana diketahui bahwa material utama untuk memproduksi besi dan baja adalah biji besi (*iron ore*) dan kokas (*coke*). Dari hasil penelitian sebelumnya [Stromquist, B., Forsberg, S., Edberg, N., 1989] dilaporkan bahwa untuk memproduksi satu ton besi cair (*hot metal*) adalah diperlukan hampir setengah ton kokas.

Kondisi saat ini, sebagian kokas untuk memenuhi keperluan tersebut terpaksa mengimpor dari luar negeri seperti Jepang, China dan Taiwan. Indonesia memiliki banyak batubara, namun kebanyakan masih bersifat muda. Batubara yang biasa digunakan untuk membuat kokas adalah jenis batubara bituminus. Karena ketersediaan jumlah bituminus yang terbatas maka Indonesia terpaksa mengimpor dari negara-negara tersebut. Mengingat kokas adalah salah satu komoditi yang sangat penting dalam proses peleburan besi, maka usaha atau pengembangan untuk pemenuhan kokas dalam negeri sangat diperlukan sekarang ini. Peran kokas dalam proses peleburan besi adalah sangat dominan, yaitu pertama sebagai bahan bakar untuk memproduksi energi panas supaya berlangsungnya reaksi kimia dalam proses peleburan, kedua yaitu sebagai agen pereduksi untuk penyedia gas karbon monoksida pada proses mereduksi biji besi (*iron ore*) menjadi besi murni (*pig iron*),

ketiga adalah sebagai tempat tumpuan untuk proses pemisahan antara besi cair (*hot metal*) dengan abu cair (*slag*).

Indonesia memiliki sumber daya batubara kualitas rendah dengan cadangan terbanyak yaitudari total 105 miliar ton [ESDM,2011], sebanyak 58% jenis lignit, 27% jenis sub-bituminus, 14% jenis bituminus, 1% jenis antrasit. Batubara kualitas rendah ini merupakan batubara jenis *non-coking coal*.

Dari penelitian sebelumnya diperoleh informasi bahwa sekitar 65% cadangan batubara yang ada di Indonesia adalah dikategorikan sebagai batubara muda dan batubara tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal. Batubara mempunyai tingkatan kualitas yang berbeda-beda yang menyebabkan hasil pembakarannyapun menjadi tidak seragam. Hal inilah yang menjadi pertimbangan banyak orang dalam penggunaannya.

Kokas sebagai bahan baku proses pembuatan baja di dalam *blast furnace*, kokas dihasilkan dari pemanasan batubara jenis *coking coal*. Batubara lainnya yang tidak memiliki kemampuan untuk dijadikan kokas merupakan batubara jenis *non-coking coal*. Indonesia memiliki sumberdaya batubara kualitas rendah dengan jumlah cadangan terbanyak. Batubara kualitas rendah ini lebih banyak merupakan batubara jenis *noncoking coal*. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan batubara jenis *non-coking coal* di Indonesia sebagai bahan baku industri metalurgi yaitu dengan cara metode *coal*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

blending. Metode *coal blending* merupakan proses pencampuran batubara jenis *coking coal* dan *non-coking coal* dengan perbandingan komposisi tertentu. Metode ini dilakukan agar batubara jenis *non-coking coal* yang melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai kokas.

Penggunaan briket kokas dalam tanur tinggi sebagai bahan bakar, reduktor dan sumber energy mengharuskan kokas memiliki nilai kalori dan kuat tekan yang tinggi. Untuk meningkatkan kualitas dari briket kokas perlu dilakukan proses karbonisasi (pemanasan awal) dengan campuran bahan pengikat (binder) serta bahan *additive* damdex. Bahan pengikat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *recovered oil* proses *rolling*. Dari penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa *recovered oil* menghasilkan hidrokarbon dan terbebas dari kandungan air. Selain itu penggunaan *recovered oil* ini juga merupakan salah satu pemanfaatan limbah yang ada. Bahan tambahan yang digunakan yaitu damdex, yang berfungsi sebagai pengeras. Kokas yang akan dihasilkan nantinya dapat digunakan sebagai pembuatan kokas metalurgi pada industri pembuatan besi baja, terutama industri yang menggunakan *blast furnace*, yang menggunakan kokas sebagai bahan bakar dan reduktor.

Pada pembuatan briket ini dilakukan analisa kinetika reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi. Kecepatan reaksi ditentukan oleh kecepatan terbentuknya zat hasil dan kecepatan pengurangan reaktan. Dengan kinetika dapat diketahui besar laju reaksi yang terjadi, sehingga dapat dikendalikan dan diupayakan agar laju reaksi lebih besar sehingga dapat mengefisienkan proses karbonisasi tersebut. Hal ini tentunya sangat berguna bagi dunia industri demi terciptanya keefektifan proses dalam suatu industri.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kokas dan Teknologi Pembuatan Kokas

Kokas merupakan hasil pirolisis dari bahan organik dengan kandungan karbon yang sangat tinggi yang mana setidaknya bagian di dalam kokas tersebut telah melewati fase cair atau kristal-cair selama proses karbonisasi dan terdiri dari karbon non-grafit. Kebanyakan bahan-bahan pembentuk kokas adalah karbon yang dapat berbentuk grafit. Struktur mereka adalah campuran dari tekstur optik dengan berbagai ukuran, dari isotropik optik hingga anisotropi (-200um diameter). (Bahan Bacaan OJT CE Meter)

Bila batubara dipirolisis atau didestilasi dengan memanaskannya tanpa kontak dengan udara, ia akan terkonversi menjadi zat padat, cair, dan gas. Dalam prakteknya, suhu tanur dijaga diatas 900° C, tetapi bisa juga berkisar antara 500° C sampai 1000° C. Produk utamanya (menurut beratnya) adalah kokas. Jika unit itu menggunakan suhu 450° C sampai 700° C, proses tersebut disebut karbonisasi suhu rendah (*low-temperature carbonization*), sedangkan pada suhu diatas 900° C, disebut karbonisasi suhu tinggi (*high-temperature carbonization*).

Kokas merupakan bahan baku dalam pembuatan anoda karbon yang akan digunakan dalam proses elektrolisis sebagai kutub positif. (Bahan bacaan OJT CE Meter) Kokas merupakan hasil dari proses karbonisasi batubara pada temperatur tertentu tanpa menggunakan udara. Sebagai akibat dari kenaikan temperatur maka material yang terkandung dalam batubara sebagian akan terlepas keluar. Peristiwa ini sering disebut dengan proses *devolatilization*. Selama proses *devolatilization*, dimana kandungan dalam batubara seperti misalnya hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur akan terlepas keluar sebagai gas produk dan sisanya adalah bongkahan kristal yang berpori umunya adalah kandungan karbon. Sebagai akibat terlepasnya sebagian material yang terkandung dalam bongkahan batubara dapat menyebabkan terjadinya penurunan massa secara keseluruhan.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pada proses karbonisasi, batubara pada awalnya mengkerut, kemudian mengembang ketika *volatile matter* mulai menguap, dan akhirnya terbentuklah gumpalan kokas. Dilatasi merupakan perubahan volume yang terjadi pada proses karbonisasi. Proses ini sangat penting untuk diketahui, agar penentuan jumlah batubara konsumsi *coke oven* dapat dilakukan dengan tepat sehingga prosesnya menjadi aman. *Audibert-Arnould dilatometry* adalah alat untuk mengukur perubahan volume yang terjadi pada proses karbonisasi.

Coking coal adalah batubara yang ketika dipanaskan pada temperatur tinggi tanpa udara mengalami tahapan plastis sementara, yaitu secara berurutan mengalami pelunakan, pengembangan, dan memadat kembali menjadi kokas. Kokas sebagai bahan baku proses pembuatan baja di dalam *blast furnace*, kokas dihasilkan dari pemanasan batubara jenis *coking coal*. *Coking coal* adalah jenis batubara yang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku kokas metalurgi (*metallurgical coke*), umumnya dari jenis batubara bituminous.

2.2. Pencampuran Batubara (*Coal Blending*)

Pencampuran batubara atau yang lebih dikenal dengan *coal blending* adalah proses pencampuran antara dua jenis batubara atau lebih dengan proporsi perbandingan dan metode tertentu. Dalam industri penambangan, pencampuran bertujuan untuk memenuhi standar kualitas yang sesuai dengan permintaan konsumen. Dalam pelaksanaan pencampuran harus mengikuti hasil perhitungan secara teoritis yang telah didukung oleh analisis skala laboratorium agar didapat kualitas batubara yang diharapkan. Prinsip kerja pencampuran adalah mencampur dua jenis batubara atau lebih yang berbeda kualitas dengan proporsi perbandingan yang telah ditentukan, hasil pencampuran harus benar-benar homogen (tercampur rata) agar didapat hasil perhitungan yang akurat.

Dalam hal ini pencampuran dilakukan terhadap batubara yang berbeda nilai kalori, kandungan sulfur dan kandungan abu, sehingga kualitas batubara hasil campuran merupakan perpaduan dari parameter kualitas batubara yang dicampur. Atau dengan kata lain batubara yang memiliki kualitas rendah (nilai kalori rendah dan kandungan sulfur tinggi), dapat dicampur dengan batubara yang memiliki kualitas tinggi (nilai kalori tinggi dan kandungan sulfur rendah) dan dapat memenuhi batasan-batasan persyaratan untuk memenuhi permintaan konsumen. Pencampuran batubara dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan, dengan komposisi yang homogen.

Pencampuran ini diutamakan pada produksi kokas untuk kekuatan yang sesuai terutama *coke strength after reaction* (CSR), meskipun kehilangan sejumlah masa. Teknologi pembuatan kokas dari batubara jenis *coking* telah dikenal, namun penggunaannya terhadap batubara Indonesia untuk menghasilkan kokas dengan kualitas yang memenuhi persyaratan masih belum diperoleh, Karena jenis batubara yang terdapat di Indonesia kebanyakan hanya batubara non *coking*, sehingga pengolahannya hanya semikokas saja. Secara umum pertimbangan *volatile matter* dalam pencampuran batubara sekitar 26-29% baik untuk pengkokasan. Oleh karena itu, perbedaan tipe batubara, dicampur secara *proportional* untuk memperoleh tingkat *volatility* sebelum pengkokasan dimulai. Istilah-istilah dalam proses pembuatan kokas, yaitu: *Plastic Properties* (CSN(*crucible swelling number*), *Fluidity*, *Dilation*). *Plasticity* menunjukkan kemampuan batubara meleleh dan terikat. *Plasticity* merupakan kemampuan untuk mengalami proses pelunakan, reaksi kimia, pembebasan gas, dan memadat kembali dalam *coke oven*. *Plasticity* sangat dibutuhkan dalam proses *coke blend* untuk menentukan kekuatan akhir dari produk kokas. Fluiditas dari sifat plastis merupakan faktor utama untuk menentukan berapa



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

banyak batubara yang digunakan untuk pencampuran. *Crucible swelling number (CSN)* adalah salah satu tes *plasticity* untuk mengamati *caking properties* batubara, yang paling sederhana dan mudah dilakukan. *Caking* adalah kemampuan batubara membentuk gumpalan yang mengembang selama proses pemanasan.

2.3. Analisa dan Pengujian Kokas

Pengujian kekuatan kokas dilakukan untuk mendapatkan informasi apakah ada pengaruh antara waktu rekarbonisasi dengan kekuatan terhadap kekerasan abrasi dan kekuatan terhadap daya pecah. Kokas yang telah diproduksi berdasarkan perbedaan temperatur karbonisasi dilakukan pengujian

kekuatan dengan menggunakan alat *I-type tumbler test*. Hasil dari test tersebut diperoleh kokas terpecah menjadi partikel halus dan partikel kasar.

Penilaian kualitas batubara ditentukan oleh beberapa parameter yang terkandung dalam batubara yang ditemukan dari sejumlah analisis di laboratorium, parameter kualitas batubara umumnya terdiri dari nilai kalori (*calorific value*), kandungan sulfur (*total sulfur*), kandungan air total (*total moisture*), analisa proksimat (*proximate analysis*), dan analisis ultimat (*ultimate analysis*). Batas dari unsur-unsur yang terdapat pada kokas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Range unsur-unsur yang diperbolehkan dalam kokas metalurgi [Daud Patabang, 2009]

PROXIMATE ANALYSIS				
(% massa)	Jenis Batubara			
	Antracite	Bituminous	Subbituminous	lignite
Fixed carbon (FC)	83.3	70	45.9	30.8
Volatile Matters (VM)	5.7	20.5	30.5	28.2
Moisture (M)	2.5	3.3	19.6	34.8
Ash (A)	8	6.2	4	6.2
ULTIMATE ANALYSIS				
Carbon, C	89.3	80.7	58.8	42.4
Hydrogen (H ₂)	2.9	4.5	3.8	2.8
Sulfur (S)	0.7	1.8	0.3	0.7
Oksigen (O ₂)	0.7	2.4	12.2	12.4
Nitrogen (N ₂)	1.3	1.1	1.3	0.7
Air (H ₂ O)	2.5	3.3	19.6	34.8
Nilai kalor HHV (Btu/lb)	13,710	14,310	10,130	7,210
Kebutuhan udara pembakaran (lb udara/lb batubara)	10,4233	12,819	9,0977	6,4234

3. METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

1. Batubara *coking coal* bituminous dan batubara lignit
2. Binder *recovered oil*
3. Bahan *additive* damdex
4. HNO₃ untuk analisa metalografi

3.2 Peralatan Penelitian

Vibrating screen machine, seri ayakan -40, +60 #, neraca analitis, *muffle furnace*, krusibel baja, mikroskop optik, mesin *grinding* dan *polishing*, mesin *pressing*, deksikator, *ball mill*, *erlenmayer pyrex*, 200 ml, *crucible boat alumin*, gelas ukur *pyrex*, 100 ml, alumina, *beaker glass pyrex*, 250 ml, *thermocouple*, *I Type Tumbler Test*, *XRD*

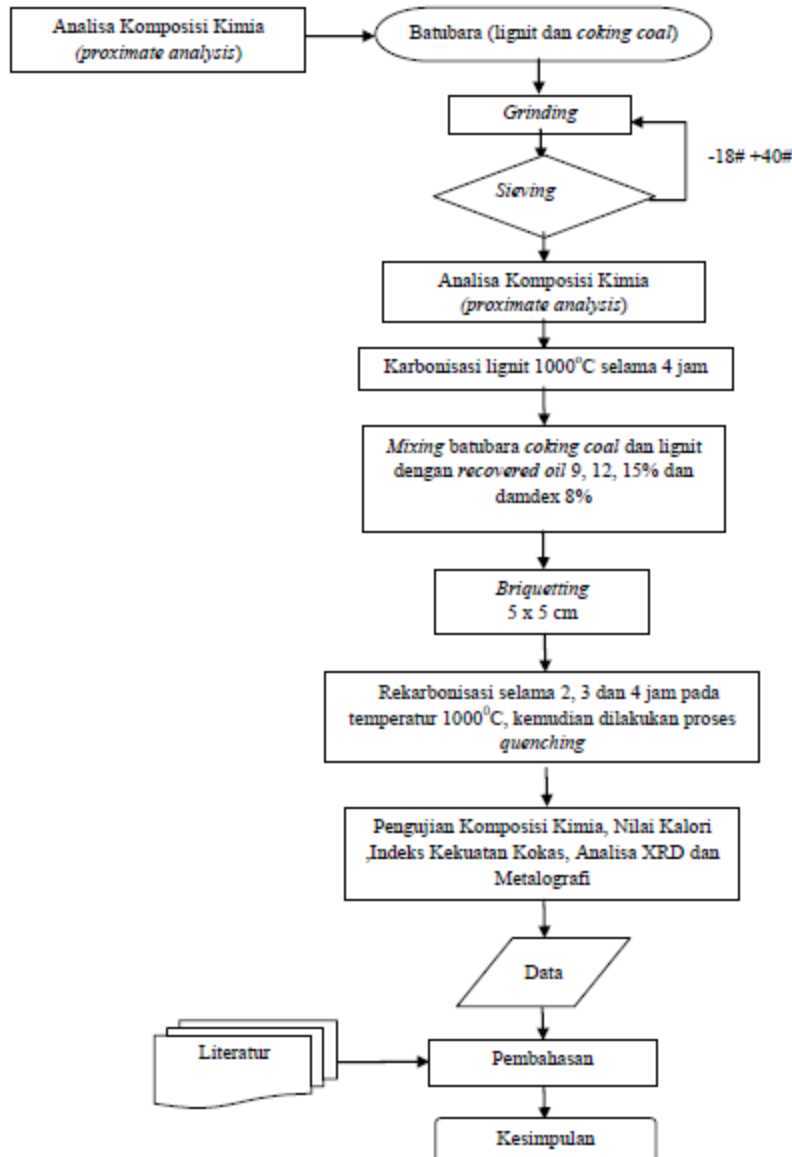


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian pembuatan briket kokas

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan briket kokas ini menggunakan campuran batubara lignit dan coking coal dengan komposisi blending (20-80) %. Pada saat preparasi awal bahan baku dilakukan pemisahan distribusi ukuran. Distribusi ukuran yang digunakan pada penelitian ini yaitu butir -40# mesh berjumlah 60%wt dan -60# mesh berjumlah 40% wt. Penggunaan butir -40# yang lebih dominan akan menghasilkan briket kokas yang lebih kompak karena butir yang lebih halus akan

mengisi pada rongga butir-butir -40# sehingga mampu menambahkerapatan pada saat dilakukan pembriketan.

Penelitian ini menggunakan variasi penambahan binder *recovery oil* dan waktu rekarbonisasi briketkokas. Variasi *recovery oil* yang digunakan adalah 9%, 12% dan 15%. Sedangkan variasi wakturekarbonisasi yang digunakan antara lain 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Penelitian ini menggunakan pengujian – pengujian sebagai indikator keberhasilan,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

antara lain adalah analisa *proximate*, nilai kalori, nilai sulfur dan sifat mekanik.

4.1 Komposisi Kimia Batubara

Pada penelitian ini batubara lignit dilakukan proses analisa proksimat untuk mengetahui komposisi kimia awal dari batubara lignit, kemudian setelah proses karbonisasi awal pada temperatur 1000°C selama 4 jam dilakukan kembali analisa proksimat untuk mengetahui perubahan komposisi kimia setelah dikarbonisasi. Pada Tabel 2 diperlihatkan komposisi awal dari masing-masing jenis batubara lignit dan *coking coal*.

Tabel 2. Hasil Analisa *Poximate* Awal Batubara

Analisis Parameter	Batubara	
	Coking coal	Lignit
Moisture (% adb)	11,5	20,50
Ash (% adb)	8,71	1,93
Volatile matter (%adb)	19,41	37,87
Fixed carbon (% adb)	70,77	39,70
Sulphur (% adb)	0,54	0,23
Calorific value (cal/g adb)	7.808	5.605

Analisa *proximate* dilakukan untuk mengetahui kandungan komponen pada batubara seperti jumlah kadar air, abu, zat terbang dan karbon tetap, sulfur dan nilai kalori. Hasil analisa proksimat batubara lignit setelah proses karbonisasi diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisa *Poximate*

Analisis Parameter	Batubara Lignit	
	Sebelum karbonisasi	Setelah karbonisasi awal 1000°C
Moisture (% adb)	20,50	2,30
Ash (% adb)	1,93	4,76
Volatile matter (%adb)	37,87	3,54
Fixed carbon (% adb)	39,70	89,40
Calorific value (cal/g adb)	5.605	7.23

Analisa *proximate* dilakukan untuk mengetahui kandungan komponen pada batubara seperti jumlah kadar air, abu, zat terbang dan karbon tetap, sulfur dan nilai kalori. Hasil analisa proksimat batubara lignit setelah proses karbonisasi diperlihatkan pada Tabel 3.

Proses karbonisasi dilakukan untuk memperbaiki kualitas dari batubara lignit, karena proses karbonisasi dapat mengurangi kadar *moisture*, sulfur dan zat terbang. Sedangkan jumlah nilai tersebut berbanding terbalik pada abu, *fixed carbon* dan nilai kalori yang cenderung meningkat setelah karbonisasi seperti data yang dihasilkan pada Tabel 3.

Kekuatan kokas juga diperoleh dari hasil karbonisasi awal, penambahan binder (*recovered oil*), dan komposisi fraksi ukuran batubara. Karbonisasi awal sangat berpengaruh terhadap kekuatan kokas karena transformasi perubahan batubara menjadi kokas terjadi pada temperatur 1000 – 1300°C. Jadi semakin tinggi temperatur karbonisasi maka kekuatan kokas akan semakin besar, hal ini juga didukung karena batubara yang digunakan memiliki sifat merekat. Selain hal tersebut penambahan binder, dan fraksi ukuran batubara yang mayoritas halus juga menambahkan nilai kerapatan serta kekuatan kokas karena fungsi binder disini sebagai bahan pengikat, ditambah dengan perbedaan fraksi ukuran batubara (40 dan 60 mesh) mampu menambah kerapatan pada saat dilakukan pembriketan.

4.2 Analisa Komposisi Kimia *Recovered Oil*

Penggunaan binder pada pembuatan briket kokas bertujuan menambah nilai kekuatan pada briket kokas karena binder berfungsi sebagai bahan pengikat dari batubara yang akan dicampurkan. Analisa komposisi kimia pada binder perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari binder tersebut. Hasil analisa kimi *recovered oil* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4



Seminar Nasional Integrasi Proses
 "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

Tabel 4. Hasil Analisa Kimia Recovered Oil

Parameter	Hasil Anallisa
Density	0,91 gram/ml
Viscosity	55,70 cst (mm ² /s)
Kadar air	0,004 % volume

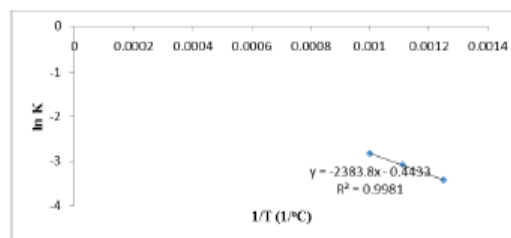
Dari Tabel 4 terlihat bahwa kadar air dalam binder *recovered oil* sangat kecil 0,004%vt. Sehingga dapat dipastikan keberadaan binder harapannya tidak akan menambah kelembaban briket kokas.

4.3 Karbonisasi dan Perhitungan Energi Aktivasi

Kokas merupakan hasil dari proses karbonisasi batubara pada temperatur tertentu tanpa menggunakan udara. Sebagai akibat dari kenaikan temperatur maka material yang terkandung dalam batubara sebagianakan terlepas keluar. Peristiwa ini sering disebut dengan proses *devolatilization*. Selama proses *devolatilization*, dimana kandungan dalam batubara seperti misalnya hidrogen, oksigen, nitrogen dan akanterlepas keluar sebagai gas produk dan sisanya adalah bongkahan kristal yang berpori umumnya adalah kandungan karbon. Sebagai akibat terlepasnya sebagian material yang terkandung dalam bongkahan batubaradapat menyebabkan terjadinya penurunan massa secara keseluruhan.

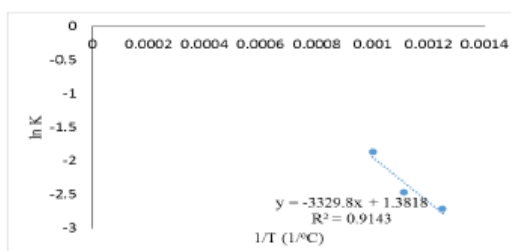
Pada proses karbonisasi, batubara pada awalnya menyusut, kemudian mengembang ketika *volatile matter* mulai menguap, dan akhirnya terbentuklah gumpalan kokas. Dilatasi merupakan perubahan volumeyang terjadi pada proses karbonisasi. Proses ini sangat penting untuk diketahui, agar penentuan jumlahbatubara konsumsi *coke oven* dapat dilakukan dengan tepat sehingga prosesnya menjadi aman.Pada pembuatan kokas ini dilakukan analisa kinetika reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi. Kecepatan reaksi ditentukan oleh kecepatan terbentuknya zat hasil dan kecepatan pengurangan reaktan.Dengan kinetika dapat diketahui besar laju reaksi yang terjadi, sehingga dapat dikendalikan dan

diupayakanagar laju reaksi lebih besar sehingga dapat mengefisiensikan proses karbonisasi tersebut. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara $1/T$ dan $\ln K$ untuk batubara *coking coal*.



Gambar 2. Hubungan antara $\ln K$ dan $1/T$ dari Batubara *Coking Coal*

Sedangkan Gambar 3. Menunjukkan hubungan antara $1/T$ dan $\ln K$ untuk batubara lignit.



Gambar 3. Hubungan antara $\ln K$ dan $1/T$ dari Batubara Lignit

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan harga energi aktivasi reaksi karbonisasi untuk masing-masingjenis batubara, yaitu 19,818 kJ/mol untuk bituminus (*coking coal*) dan 27,684 kJ/mol untuk lignit. Energiaktivasi adalah energi minimum yang harus dimiliki untuk bereaksi, dalam hal ini adalah reaksi karbonisasi.Dari pengertian energi aktivasi diatas dapat dikatakan bahwa energi yang dibutuhkan untuk reaksi karbonisasi pada pembuatan kokas dari jenis batubara lignit memerlukan energi yang lebih besardibandingkan dengan batubara bituminus.

Berdasarkan sifat-sifat batubara tersebut maka energi aktivasi yang dimiliki bituminus lebih kecildibandingkan l igni t . Ini menunjukkan bahwa bituminus lebih mudah terbakar dibandingkan lignit. Hal ini sangat bersesuaian dengan teori dalam kajian pustaka.



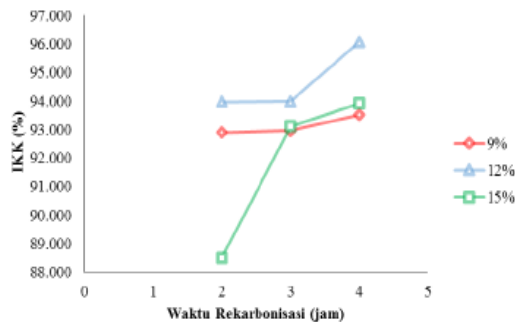
Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

4.4 Pengaruh Waktu Rekarbonisasi dan Penambahan Binder Terhadap Indeks Kekuatan Kokas

Setelah dilakukan proses pembriketan dan rekarbonisasi dengan variasi waktu dan penambahan binder selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan briket kokas menggunakan *I-type tumbler test*. Briket kokas yang akan diuji ditimbang terlebih dahulu berat awal umpam pada *I-type tumbler test*, selanjutnya selama pengujian briket kokas diputar sebanyak 600 kali putaran. Setelah diputar briket kokas mulai ada yang rontok discreendengan ayakan +6,3 mm, kokas yang berukuran lebih dari 6,3 mm atau berada di atas ayakan ditimbang sebagai berat akhir. Persentase perbandingan berat akhir dan berat awal dihitung sebagai indeks kekuatan yang menunjukkan kekuatan kokas dinamis. Hasil pengujian kekuatan kokas dengan variasi wakturekarbonisasi dapat dilihat pada Gambar 4.

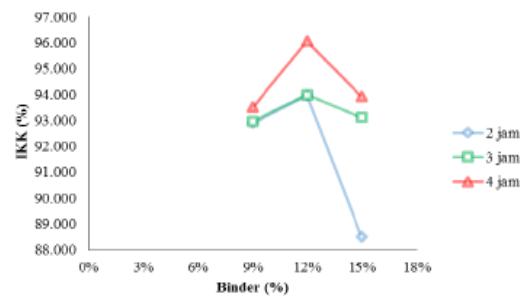


Gambar 4. Pengaruh waktu rekarbonisasi terhadap indeks kekuatan briket kokas

Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa indeks kekuatan briket kokas selalu memiliki tren yang semakin meningkat seiring penambahan waktu rekarbonisasi. Semakin lama waktu rekarbonisasi maka akan menghilangkan kandungan air yang terdapat pada binder. Waktu rekarbonisasi yang dapat menghasilkan kekuatan optimum yaitu pada waktu rekarbonisasi selama 4 jam pada penggunaan binder 12 % dengan nilai indeks kekuatan maksimal sebesar 96,064%.

Dari Gambar 5. dapat dilihat bahwa penambahan binder yang optimum pada 12%

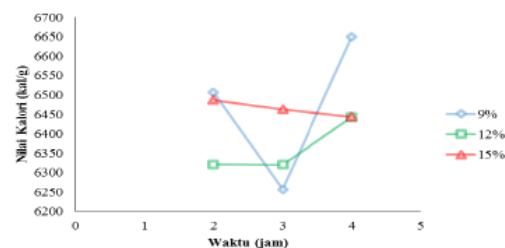
wt pada waktukarbonisasi 4 jam menghasilkan nilai indeks kekuatan kokas maksimal sebesar 96,064% sedangkan padapenggunaan binder 15% cenderung menghasilkan kekuatan briket kokas yang menurun. Hal ini dikarenakan fungsi binder adalah untuk menaikkan daya ikat proses perekatan antar partikel dalam briket kokas, ketikagaya maksimal telah dicapai maka penambahan binder justru akan menambah kelembaban briket kokas dikarenakan fasa binder dalam bentuk cair.



Gambar 5. Pengaruh Penambahan Binder terhadap Indeks Kekuatan Briket Kokas

4.5 Pengaruh Waktu Rekarbonisasi dan Penambahan Binder Terhadap Nilai Kalori

Nilai kalori merupakan jumlah panas yang dihasilkan apabila sejumlah tertentu batubara dibakar. Nilai kalori ditentukan dari kenaikan suhu pada saat sejumlah tertentu batubara dibakar. Semakin tinggi nilai kalordari suatu batubara, maka semakin baik kualitas dari batubara tersebut. Pengujian nilai kalori ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 5865. Hasil pengujian kekuatan kokas dengan variasi wakturekarbonisasi dan komposisi binder dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Pengaruh Waktu Rekarbonisasi terhadap Nilai Kalori Briket Kokas



Seminar Nasional Integrasi Proses

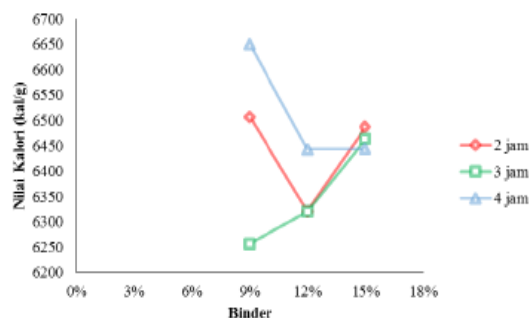
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Gambar 6 menyajikan hubungan antara waktu terhadap nilai kalori yang dihasilkan pada pembuatan briket kokas yang telah dilakukan. Nilai kalori tertinggi didapatkan pada waktu rekarbonisasi 4 jam dengan komposisi binder sebanyak 9% menghasilkan 6.650 kal/g. Namun pada komposisi yang sama dengan waktu rekarbonisasi selama 3 jam menghasilkan nilai kalori terendah yaitu sebesar 6257 kal/g hal tersebut dimungkinkan *furnace* yang kurang stabil sehingga terjadi selisih sekitar 400 kalori. Namun demikian dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa tren cenderung meningkat pada komposisi binder 9% dan 12%, namun mengalami penurunan pada komposisi binder 15% hal ini diprediksi penambahan binder justru memberikankondisi kelembaban pada briket kokas sehingga upaya untuk menaikkan suhu pada pengujian nilai kalorimenjadi rendah yang berakibat pada nilai kalori pada penambahan binder 15% turun.

Dari gambar 7 dapat dilihat hubungan antara komposisi binder terhadap nilai kalori. Nilai kaloriteringgi yang didapat yaitu sebesar 6650 kal/g pada komposisi binder 9%. Nilai kalori yang didapat masih tergolong rendah untuk dijadikan bahan bakar *blast furnace*. Hal ini diduga dikarenakan proses

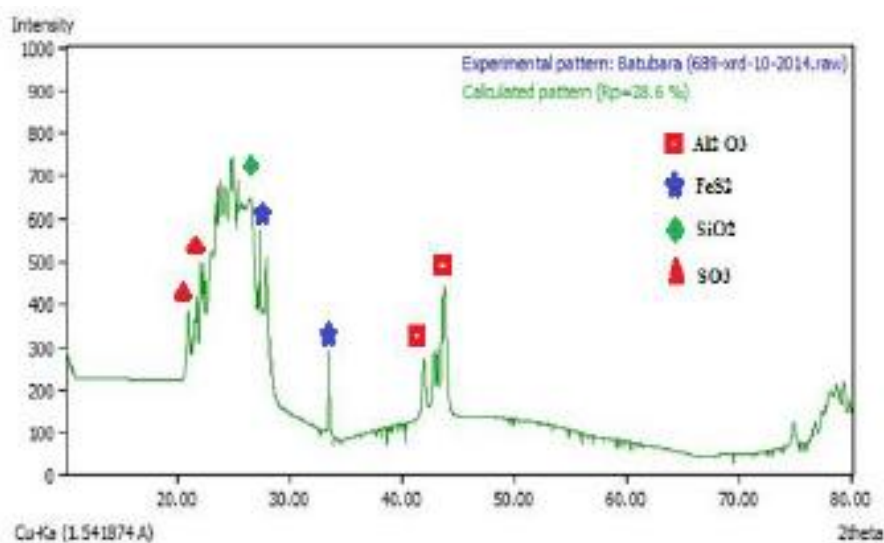
quenching yang menyebabkan adanya air yang masih terjebak pada briket kokas sehingga menyebabkan berkurangnya kadar *fixed carbon* yang akan berbanding lurus terhadap nilai kalori.



Gambar 7. Pengaruh komposisi binder terhadap nilai kalor briket kokas

4.5 Hasil Analisa XRD

Pengujian terakhir pada pembuatan briket kokas ini adalah pengujian XRD. Analisa XRD ini dilakukan pada briket kokas yang memiliki indeks kekuatan kokas paling tinggi untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat pada briket kokas. Gambar 5. menyajikan hasil analisa XRD dari briket kokas yang telah dibuat.



Gambar 8. Hasil Analisa XRD Briket Kokas



Seminar Nasional Integrasi Proses

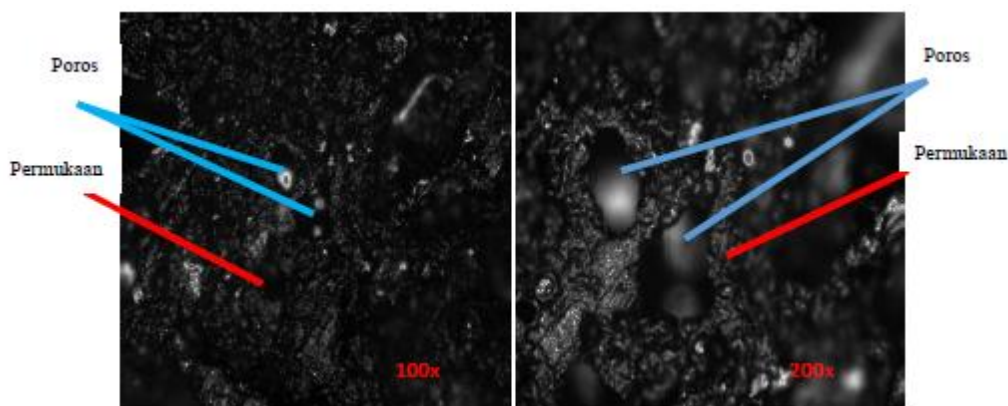
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Dari Gambar 5. dapat dilihat bahwa kandungan yang terdapat pada briket kokas ini adalah kuarsa(SiO_2), Pyrite (FeS_2), Corundum (Al_2O_3) dan SO_3 . Komposisi tersebut sesuai dengan komposisi mineral yang terdapat di dalam batubara. Menurut buku principles raw material and design, komposisi mineral yang relative besar terdapat di dalam batubara adalah alumino silikat (lempung), mineral karbonat dan besi sulfide

4.6 Analisa Metalografi

Briket kokas dilakukan analisa metalografi pada pembesaran 100x dan 200x. Analisa ini ditujukan untuk melihat poros dari briket kokas yang telah dibuat. Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa briket kokas cukup mengandung banyak poros. Hal ini tentu sangat diperlukan karena salah satu fungsi kokas adalah sebagai bahan bakar atau sebagai energi panas di dalam *blast furnace*. Pori – pori yang terdapat pada kokas dapat mempermudah proses nyala api dikarenakan adanya gas oksigen yang terjebak di dalam briket kokas.



Gambar 9. Hasil Analisa Metalografi pada Perbesaran 100x dan 200x

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Harga energi aktivasi reaksi karbonisasi bituminus lebih besar yaitu 19,818 kJ/mol dibandingkan dengan lignit yaitu sebesar 27,684 kJ/mol.
- Penambahan binder yang optimum pada 12% wt pada waktu karbonisasi 4 jam menghasilkan nilai indeks kekuatan kokas maksimal sebesar 96,064% sedangkan pada penggunaan binder 15% cenderung menghasilkan kekuatan briket kokas yang menurun.
- Indeks kekuatan briket kokas selalu memiliki tren yang semakin meningkat seiring penambahan waktu rekarbonisasi. Waktu rekarbonisasi yang optimum yaitu pada 4 jam.

- Nilai kalori terbesar dihasilkan pada komposisi binder 9% dengan waktu rekarbonisasi selama 4 jam sebesar 6650 kal/g.
- Dari analisa XRD yang telah dilakukan, kandungan yang terdapat pada briket kokas ini adalah kuarsa (SiO_2), Pyrite (FeS_2), Corundum (Al_2O_3).

DAFTAR PUSTAKA

- Coal Information. 2011. Documentation for Beyond 2020 Files. International Energy Agency
- Grigore M, Sakurovs R, French D and Sahajwalla V. 2007. *Effect Of Carbonization Conditions On Mineral Matter In Coke*. ISIJ International Vol. 47: 62–66.
- Herry Suprianto, Desember 2011. Pemanfaatan Kokas Briket Sebagai bahan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Bakar Industri Pengecoran Logam. Chem-is-try.org.
- Hessley, R.K. Reasoner, J.W. and Riley, J.T. 1986. *Coal Science An Introduction to Chemistry Technology and Utilization*. McGraw Hill Publishing Company Limited. London.
- Khairil & Irwansyah. 2010. *Kaji Eksperimental Teknologi Pembuatan Kokas dari Batubara sebagai Sumber Panas dan Karbon pada Tanur Tinggi (Blast Furnace)*. Universitas Syiah Kuala, Aceh.
- Lappas, A.A. Papavasiliou, D. Batos, K. and Vasalos, I.A. 1990. *Product Distribution and Kinetic Predictions on Greek Lignite Pyrolysis*. J.Fuel. Chem. 69, 1304-1308
- Norton, G. Mroch, D. Chriswell, C. and Maruszewski, R. 1988. *Processing and Utilization of High-Sulfur Coals II* (Y.P.Chung and R.D. Caudle Eds.) Elsevier. New York.
- Rustadi, Purawardi. dan Susanto. 2003. *Proses Pengolahan Batubara Indonesia Untuk Kokas Metalurgi Dengan Metode Blending*. Pusat Penelitian Metalurgi LIPI. Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang.
- Sobroto, 2006, "Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara, Ampas Tebu, dan Jerami", Surakarta.
- Tim Kajian Batubara Nasional. 2006. *Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara*. Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara.



PEMURNIAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH DENGAN METODE *DRY WASHING* MENGUNAKAN KOMBINASI ADSORBEN

Rudi Hartono^{1*}, Rennieda Soliana Putri¹, Windah Sartika¹, Tri Yogo Wibowo²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten

²Pusat Teknologi Agroindustri, BPPT, Serpong

*Email: rudiplcclg@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh kombinasi adsorben (bentonit-talk, bentonit-zeolit, bentonit-arang aktif) dalam proses pemurnian biodiesel dari minyak jelantah dengan variasi massa masing-masing kombinasi sebesar 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% dan proses pemurnian dilakukan selama 20 menit. Metode yang digunakan yaitu persiapan bahan baku, pembuatan biodiesel dengan mencampurkan minyak jelantah dengan sodium methoxide kemudian dipisahkan antara biodiesel kotor dan gliserol. Proses aktivasi adsorben menggunakan HCl. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kombinasi adsorben terbaik dalam proses pemurnian biodiesel adalah bentonit dan zeolit dengan perbandingan massa 75%:25%, untuk uji densitas sebesar 857 Kg/m³, pH biodiesel dengan nilai 6, uji bilangan asam sebesar 0,11 mg KOH/g biodiesel dan nilai flash point 165°C.

Kata Kunci : Biodiesel, Minyak jelantah, Metode *Dry Washing*, Adsorben

Abstract

This research was conducted to determine the effect combination of adsorbent (bentonite-zeolite, bentonite-talc, bentonite-carbon active) in process of purifying biodiesel from cooking oil with mass variations of each combination is 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% and time of process purification is 20 minutes. The method used is preparation of raw materials, production of biodiesel by mixing cooking oil with sodium methoxide then separation between crude biodiesel and glycerol. Process activation adsorbent used HCl. The results from this research indicate, the best combination of adsorbent in process purification is bentonite-zeolite with mass ratio 75%:25%, density of 857 Kg/m³, pH value of biodiesel is 6, acid number biodiesel is 0,11 mg KOH/g biodiesel and flash point 165°C.

Keywords : Biodiesel, Cooking Oil, *Dry Washing Method*, Adsorbent

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui transesterifikasi dengan alkohol. Biodiesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan biasanya lebih mahal dibanding bahan bakar diesel konvensional dari minyak bumi. Mengingat hal tersebut maka biodiesel dapat saja dibuat

dari minyak nabati yang tidak harus baru, seperti minyak jelantah (minyak bekas penggorengan). Limbah minyak jelantah memiliki kandungan asam lemak yang cukup tinggi (Sidjabat, O., 2003). Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dilakukan dengan reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan methanol yang menghasilkan metal ester dan gliserol. Proses akhir pembuatan biodiesel menghasilkan dua



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

lapisan cairan terpisah, yakni lapisan teratas merupakan lapisan biodiesel kotor dan lapisan bawah adalah gliserol. Biodiesel kotor umumnya masih mengandung kontaminan seperti sisa katalis, sabun, metanol yang tidak bereaksi dan sisa gliserol yang akan mempengaruhi kualitas dari biodiesel sehingga harus dihilangkan dari produk. Proses pemurnian biodiesel ini dapat dilakukan dengan pencucian menggunakan air. Metode pencucian dengan air memiliki kelemahan diantaranya yaitu membutuhkan jumlah air yang cukup banyak dan membutuhkan energi yang besar untuk menguapkan sisa air pencucian yang terkandung dalam biodieselserta telah dilakukan pengembangan dengan metode *dry washing*.

1.1 Rumusan Masalah

Metode pencucian dengan air memiliki kelemahan diantaranya yaitu membutuhkan jumlah air yang cukup banyak dan membutuhkan energi yang besar untuk menguapkan sisa air pencucian yang terkandung dalam biodiesel dan telah dilakukan pengembangan dengan metode *dry washing* menggunakan adsorben. Metode *dry washing* menggunakan satu adsorben dalam proses pemurniannya masih menghasilkan angka asam yang tinggi. Angka asam yang tinggi menunjukkan penggunaan satu adsorben dalam proses pemurnian kurang efektif sehingga perlu dikembangkan optimasi aplikasi pemurnian biodiesel dengan menggunakan kombinasi adsorben.

1.2 Tujuan Penelitian

Menentukan kondisi dan jenis kombinasi adsorben terbaik dalam pemurnian biodiesel. Metode *dry washing* merupakan salah satu teknologi yang di tawarkan untuk mengadsorpsi bahan-bahan pengotor yang terkandung dalam biodiesel kotor dengan menggunakan adsorben. Metode *dry washing* menggunakan satu adsorben dalam proses pemurniannya masih menghasilkan angka asam yang tinggi.

Adsorben yang dapat di gunakan pada proses pencucian biodiesel diantaranya adalah :

1. Bentonit

a. Na-bentonit

Na-bentonit memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Na-bentonit dalam keadaan kering berwarnaputih atau putih pucat, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Suspensi koloidal mempunyai pH 8,5-9,8.

b. Ca-bentonit

Tipe bentonit ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, tetapi secara alami setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Suspensi koloidal mempunyai pH 4-7. Dalam keadaan kering berwarna abu-abu, biru, kuning, merah, coklat. Na-bentonit dimanfaatkan sebagai bahan perekat, pengisi, lumpur bor, sesuai sifatnya mampu membentuk suspensi koloidal setelah bercampur dengan air, sedangkan Ca-bentonit banyak dipakai sebagai bahan penyerap.

2. Zeolit

Zeolit merupakan kelompok mineral yang mempunyai sifat dapat menyerap air dan melepaskannya lagi tanpa mengalami perubahan struktur yang signifikan sehingga zeolit masuk dalam kelompok zat adsorben. Zeolit alam merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi dengan kation dari kelompok alkali ata alkali tanah yang terdiri dari struktur kristal tiga dimensi Si dan Al tetrahedral dan dihubungkan dengan atom oksigen. Struktur zeolit mengandung pori yang dapat diisi dengan air atau kation yang dapat dipertukarkan cairan (Poerwadi dkk., 2004).

3. Talk

Talk (talkum) yang mempunyai nama kimia magnesium hidrogenmetasilikat merupakan bentuk alami dari hidrous magnesium silikat yang terdiri dari variasi suatu kumpulan mineral seperti alpha-quartz, calcite, klorit, dolomit, magnesit dan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

phlogopit. Rumus kimia dari talk adalah $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$. Talk mengandung lapisan penting berupa magnesium yang terselip diantara dua lapisan silica. Karakteristik utama talk adalah permukaannya yang hidrofobik dan pinggiran yang bersifat hidrofilik. Permukaan talk yang hidrofobik mempunyai daya tarik menarik dengan bahan organik, sedangkan pinggiran talk yang hidrofilik dapat dengan mudah terdispersi di dalam air (Schmidt, W., 2006).

4. Arang aktif

Arang yang sudah di aktifkan sehingga pori - porinya terbuka dan permukaan bertambah luas sekitar 300 sampai 2000 m^2/g . Permukaan arang aktif yang semakin meluas menyebabkan daya adsorpsinya terhadap gas dan cairan semakin tinggi. Daya adsorpsi yang tinggi di sebabkan jumlah pori-pori yang besar . Arang aktif terbagi atas 2 tipe yaitu arang aktif sebagai pemucat dan arang aktif sebagai penyerap uap. Arang aktif sebagai pemucat biasanya berbentuk powder yang sangat halus, digunakan dalam fase cair, berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan, membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu dan kegunaan lain yaitu pada industri kimia dan industri baru.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan

Bahan- bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain minyak jelantah yang bersumber dari RSUD Kabupaten Tangerang, adsorben (arang aktif, bentonit, zeolit dan talk), HCl 37%, Metanol, NaOH, aquades.

2.2. Alat

Alat - alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian alat pembuatan biodiesel (labu leher 3, kondensor, penangas, termometer, dekanter, statif), rangkaian alat aktivasi dan pemurnian adsorben (gelas kimia, erlenmeyer, pompa vakum, oven), alat pengukur mesh adsorben, timbangan analitik, oven, piknometer.

2.3. Cara Kerja

Prosedur penelitian ini meliputi beberapa tahapan, yaitu proses persiapan bahan, pembuatan biodiesel, aktivasi kombinasi adsorben dan pemurnian biodiesel.

Proses Pembuatan Biodiesel

Sampel minyak jelantah dimasukkan kedalam gelas kimia 500 ml. Minyak jelantah dipanaskan pada suhu $110^{\circ}C$ selama 10 menit untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam minyak jelantah. Diamkan sampai suhu turun. Membuat sodium metoxide, 1,778 gram katalis NaOH padat dilarutkan dengan 50 ml methanol (25%v-minyak jelantah). Mereaksikan 200 ml minyak jelantah dengan sodium metoxide pada suhu $60^{\circ}C$ dengan pengadukan selama 60 menit. Memisahkan biodiesel kotor dan gliserol dengan dekanter.

Proses Aktivasi Kombinasi Adsorben

Kombinasi adsorben non aktivasi dicampur dengan HCl kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu $80^{\circ}C$ selama 3 jam. HCl dan kombinasi adoserben dipisahkan dengan menggunakan pompa vakum. Kombinasi adsorben dicuci dengan aquades ± 5 kali. Kombinasi adsorben yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan, pengeringan ini dilakukan untuk menghilangkan air yang masih terdapat dalam adsorben setelah proses pencucian, pengeringan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu $110^{\circ}C$.

Proses Pemurnian Biodiesel

Biodisel sebanyak 150 ml dicampur dengan kombinasi adsoben teraktivasi (massa adsorben sebesar 1,8% dari massa biodiesel kotor) dengan cara diaduk dengan kecepatan konstan selama 20 menit pada temperatur $30^{\circ}C$. Biodiesel diendapkan selama 2-3 jam. Biodiesel disaring untuk memisahkan antara biodiesel murni dengan residu adsorben.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Nilai Bilangan Asam Kombinasi Bentonit-Zeolit

Gambar 1 menunjukkan bahwa pemurnian dengan kombinasi adsorben

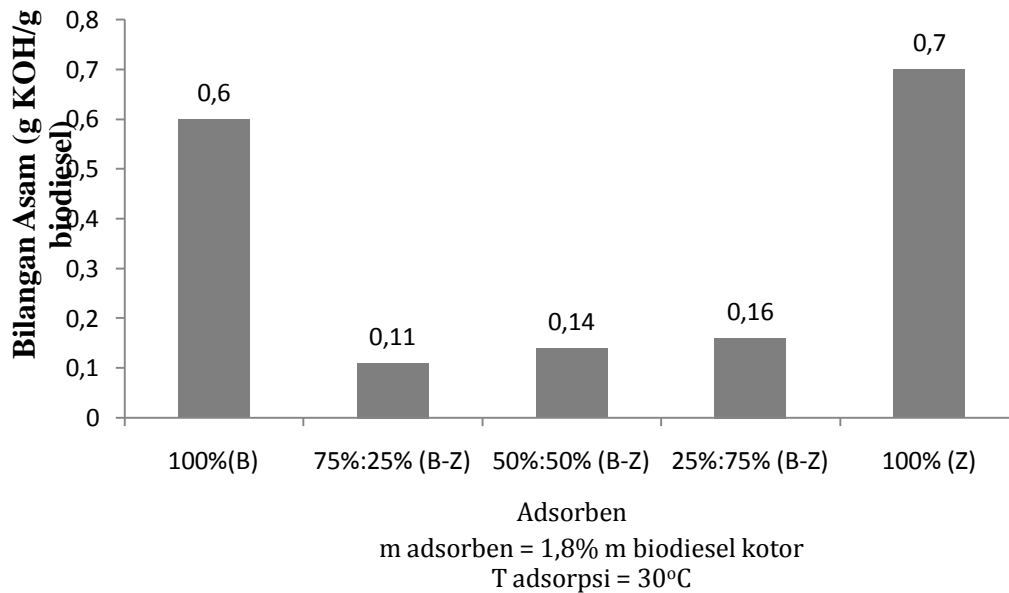


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

bentonit-zeolit mampu menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa kombinasi. Biodiesel dengan pemurnian bentonit dan zeolit memiliki bilangan asam hingga 0,11 mg KOH/g biodiesel.



Gambar 1. Nilai Bilangan Asam dengan Bentonit dan Zeolit

Biodiesel dengan pemurnian menggunakan kombinasi adsorben bentonit-zeolit memiliki nilai bilangan asam yang rendah karena bentonit dan zeolit bersifat polar sehingga mampu mengadsorpsi asam lemak bebas dan air yang bersifat polar. Si^{4+} dapat tersubstitusi oleh Al^{3+} , substitusi tersebut mengakibatkan adanya muatan negatif dalam struktur bentonit dan zeolit, muatan negatif tersebut diseimbangkan oleh kation-kation seperti Ca^+ , K^+ , Na^+ dan Mg^+ yang terletak diluar tetrahedral. Kation-kation tersebut dapat membentuk oksida bebas di permukaan yang dapat menutupi permukaan pori adsorben. Aktivasi dengan asam dilakukan pada kedua adsorben yaitu dengan menggunakan HCl dimana pada proses aktivasi adsorben, kation yang terdapat dalam bentonit dan zeolit dipertukarkan dengan ion hidrogen sehingga dapat menghilangkan oksida-oksida pengotor.

Proses adsorpsi terjadi akibat adanya gaya van der Waals dimana asam lemak bebas yang terdapat dalam biodiesel kotor merupakan gugus karboksil yang bersifat polar dan permukaan bentonit pun bersifat polar sehingga terjadi gaya dipol-dipol yang menyebabkan asam lemak bebas terserap ke permukaan bentonit. Banyaknya pori yang dimiliki oleh bentonit dan sifat kedua adsorben yang polar dapat menyerap asam lemak bebas lebih banyak sehingga menghasilkan penurunan bilangan asam yang signifikan yaitu sebesar 0,11 mg KOH/g biodiesel.

3.2. Peroleh Yield Biodiesel

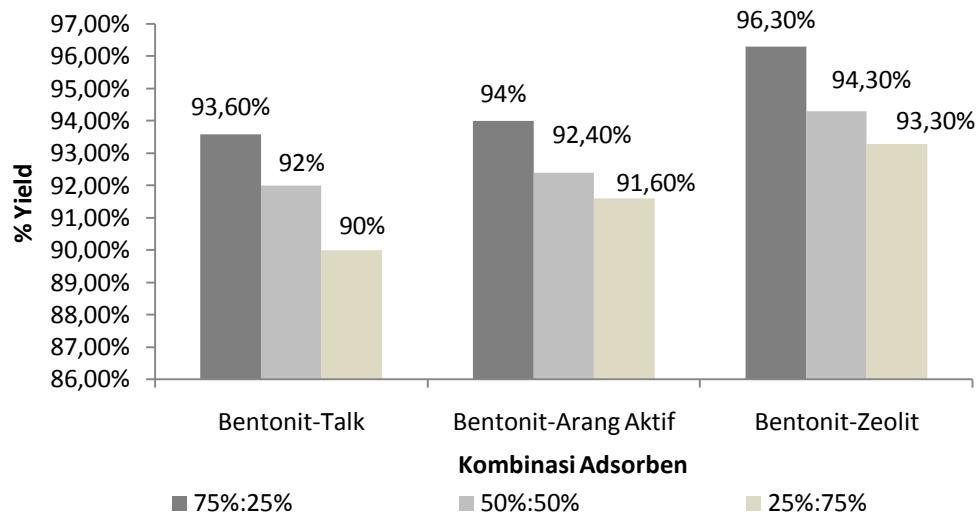
Peroleh yield biodiesel diperoleh dari jumlah biodiesel yang dihasilkan setelah pemurnian dibandingkan dengan jumlah biodiesel kotor yang akan dimurnikan.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 2. Hasil Yield Biodiesel

Hasil analisa bilangan asam, densitas, flash point dan nilai pH yang diperoleh menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan masing-masing variasi telah memenuhi Standar Nasional Indonesia seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Penelitian dan SNI

Parameter	Hasil Penelitian	SNI
Bilangan Asam (mg KOH/g biodiesel)	0,11-0,476	Maks 0,8
Densitas (Kg/m ³)	850-857	850-890
Flash Point (°C)	167	Min 95
Nilai pH	6	7

Hasil uji beberapa parameter tersebut menunjukkan tidak adanya pengaruh perbandingan massa untuk masing-masing adsorben, namun hal tersebut dapat terlihat dari hasil perhitungan %yield dimana kombinasi adsorben bentonit dan zeolit dengan perbandingan massa 75%:25% merupakan kombinasi adsorben yang mampu menghasilkan %yield terbaik karena bentonit dan zeolit memiliki struktur yang hampir sama sehingga daya adsorpsi keduanya lebih besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yaitu penggunaan kombinsi adsorben baik dalam pemurnian biodiesel, hal ini terlihat dari hasil uji parameter terutama untuk nilai bilangan

asam. Kombinasi adsorben terbaik yaitu bentonit-zeolit 75%:25%

5. Daftar Pustaka

- Agnello, V.N. 2005. *Bentonite, Phyrophyllite and Talc In The Republic of South Africa*. Report Department Minerals and Energy, Republic of SouthAfrica.
- Allen, C. A. W, Watts, K. C, Ackman, R. G. Pegg, M. J. 1999. *Predicting the Viscosity of Biodiesel Fuel from Their Fatty Acid Ester composition*. Fuel 7 :1319-1326.
- Darma MS. 2010. Adsorptivitas kaolin dan bentonit teraktivasi terhadapheksakloroetana.[skripsi]. Bogor: InstitutPertanian Bogor.
- Ditjen MIGAS. 2011. *Statistik Minyak Bumi*. pdf.
- Hambali, E., A. Suryani, Dadang, Hariyadi, H. Hanafi, I. K. Reksowardjoyo M. Rivai, M.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- Ihsanur, P. Suryadarma, S. Tjitrosemito, T. H. Soerawidjaya, T. Prawitasari, T. Prakoso, dan W. Purnama. 2007. *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Jason, P. P. 2004. *Activated Carbin and Some Application for The Remediation of Soil and Groundwater Pollution*. <http://www.cee.vt.edu/program.area>.
- Ketaren, S. 2005. *Minyak dan Lemak Pangan*. UI press. Jakarta.
- Korus, R. A., S. H. Dwight, N. Bam, C. L. Peterson, and C. D. David. 2000. *Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rape Oil*. Departemen of Chemical Engineering. University of Idaho. Moscow.
- Kurniasari, Djaeni dan Purbasari, 2011. *Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Bersuhu Rendah Jurnal : Reaktor*, Vol. 13 No. 3.
- Peebles, J. E. 1998. *Biodiesel Developments in The United States*. Meeting Economic, Policy & Technical Challenges. Proceedings of the 1998 PORIM International Biofuel and Lubricant Conference. 4-5 May 1998. Malaysia.
- Poerwadio, A. D dan Masduqi, A. 2004. *Penurunan Kadar Besi Oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu*. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, ITS, Surabaya
- Puspaningrum, S. 2007. *Pengaruh Jenis Adsorben Terhadap Peningkatan Mutu Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [Santosa, Bagus dan Anastasia Rahmi. 2013. *Pemurnian Biodiesel dengan Bahan Baku Minyak Jelantah Menggunakan Metode Adsorpsi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.
- Schmidt, W. 2006. *Structure of Zeolites*. <http://www.gly.uga.edu/schroeder/> geol 6550/CM07.htm. [8 Agustus 2007]
- Sidjabat, O., 2003, *Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Setara Solar dengan Proses Transesterifikasi*, Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar, 27 Agustus 2003, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia 04-7182-2006. 2006. *Biodiesel*. Badan Standarisasi Nasional.
- Widyanagari, Sylvilia. 2008. *Penggunaan Adsorben Dalam Proses Pemurnian Biodiesel Jarak Pagar (Jatropha curcas Linn)*. Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Yolani. 2012. *Modifikasi Bentonit Terpila Menggunakan Pollydialyl Dimetyl Amonium sebagai Sodium Dedocyl Benzene-Sulfunate*. Skripsi Fakultas MIPA. Depok



PENGARUH MINYAK JELANTAH PADA PROSES UBC UNTUK MENINGKATKAN KALORI BATUBARA BAYAH

Heri Heriyanto^{1*}, Widya Ernayati K., Chaerul Umam, Nita Margareta

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl.Jendral Sudirman km.3 Cilegon, Banten

*Email: herfais@yahoo.com

Abstrak

Hasil pemetaan potensi batubara yang telah dilakukan oleh Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Banten, diperoleh hasil yaitu batubara yang ditemukan di wilayah Bayah Kabupaten Lebak, tergolong batubara dengan nilai kalori peringka trendah. Dengan nilai kalori yang rendah pada batubara alam Bayah, banyak industri yang tidak memilih batubara daerah Bayah sebagai bahan bakar, sehingga diperlukan metode untuk menaikkan mutu kalori batubara alam Bayah. Metode *slurry dewatering* atau *UBC* adalah teknik memanaskan dan membuang air pada batu bara di dalam media minyak. Melalui pemrosesan di dalam media minyak ini, tidak hanya kalorinya yang naik, tapi muncul pula sifat anti air dan penurunan kecenderungan *lower spontaneous combustion propensity* pada produk yang dihasilkannya. Proses tersebut menggunakan minyak jelantah dan oli bekas sebagai pembanding efisiensi. Batu bara yang telah dihancurkan dan disaring dengan ukuran 10 *mesh* dimasukkan ke dalam *autoclave* berpengaduk bersama dengan minyak dengan perbandingan 1; 0.67; 0.5. *Slurry* batu bara dan pelarut dipanaskan selama 1.5 jam pada variasi temperatur 140, 150 dan 160 °C pada tekanan maksimal 1kg/cm² gauge. Produk batu bara dimasukkan ke dalam oven pada temperatur 150 °C selama 1 jam, sedangkan minyak pelarut dapat di *recycle* kembali. Hasil penelitian memungkinkan pengurangan kadar air dalam batu bara Bayah mencapai 90% dan kenaikan nilai kalori mencapai 40%.

Kata kunci : *slurry dewatering, UBC, lower spontaneous combustion propensity, autoclave*

1. PENDAHULUAN

ESDM pada pertengahan tahun 2010 mendata potensi minyak bumi masih tersisa sekitar 7,99 miliar barrel untuk rasio cadangan 23 tahun. Kegiatan dalam mengusahakan diversifikasi penggunaan energi dari minyak bumi ke bahan bakar terbarukan terus digalakkan setelah Peraturan Presiden No 5 tahun 2006 tentang Bauran Energi Nasional bahwa 17 % sumber energi nasional pada tahun 2025 berasal dari Energi Baru dan Terbarukan dikeluarkan oleh pemerintah yang diperkuat dengan Visi Energi Nasional bahwa 25 % sumber energi nasional pada tahun 2025 berasal dari Energi Baru Terbarukan. Namun bahan bakar fosil

seperti batubara tetap dipercaya sebagai sumber energi dunia. Pada dasarnya batubara digunakan sebagai bahan bakar padat untuk memproduksi listrik dan panas melalui proses pembakaran. Konsumsi batubara dunia pada tahun 2006 berkisar pada angka 6.74 milyar ton dan diperkirakan meningkat dengan estimasi sebesar 9.98 milyar ton pada tahun 2030.

Batubara muda Indonesia meskipun kandungan airnya cukup tinggi rata-rata antara 30-50% akan tetapi umumnya mempunyai kandungan abu dan sulfur yang rendah. Apabila nilai kalornya dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan teknologi tertentu yang dapat mengurangi jumlah



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

kandungan airnya secara signifikan, batubara jenis ini akan sangat diminati pasar karena masuk kategori batubara bersih (*clean coal*). Batubara yang mempunyai kandungan sulfur dan abu yang tinggi akan sangat berbahaya bagi lingkungan karena sulfur dapat menimbulkan hujan asam sedang abu terbang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. disamping itu kandungan sulfur dan abu yang tinggi juga dapat membengkakkan biaya operasi pemanfaatan batubara. Di Jepang, karena luas lahannya yang sangat terbatas, biaya handling abu hasil pembakaran batubara sudah mencapai 50 USD/ton, suatu biaya yang sangat mahal, karena itu pemerintah Jepang menerapkan pajak yang cukup tinggi terhadap setiap ton batubara yang diekspor ke Jepang. selain itu pengangkutan yang jauh sebagai alasan yang membuat keengganan pasar untuk membeli batubara muda. Untuk dapat memanfaatkan seluruh potensi batubara muda Indonesia secara maksimal diperlukan bantuan teknologi yang dapat menjadikan komoditi yang kurang menarik tersebut menjadi suatu komoditi andalan yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Tanpa bantuan teknologi, 60% dari seluruh cadangan batubara Indonesia akan menjadi cadangan sumberdaya alam yang kurang bermanfaat atau besar kemungkinan bahkan menjadi sia-sia (Hartiniati, 2010) salah satunya cadangan batubara yang terdapat di daerah Banten.

Hasil pemetaan potensi batubara yang telah dilakukan oleh Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Banten pada tahun 2009, diperoleh hasil yaitu singkapan batubara di lapangan mempunyai kisaran ketebalan antara 0,20 m sampai 2,50 m dan kualitas batubara yang ditemukan di wilayah Kabupaten Lebak bervariasi dari *lignite* hingga *bituminous* dengan kadar kalori antara 3.682 - 7.661 cal/gr. Dimana potensi endapannya sebagai cadangan batubara tersebar di daerah-daerah Bojongmanik, Panggarangan, Cihara, Cilograng dan Bayah. Dari nilai kadar kalori yang rendah (low rank) pada batubara alam Bayah, banyak industri

tidak memilih batubara alam Bayah sebagai bahan bakar untuk operasi, sehingga perlu dilakukan peningkatan efisiensi nilai kalori batubara dengan berbagai macam teknologi untuk menaikkan mutu kalori batubara alam Bayah.

Teknologi yang akan dipakai pada penelitian ini adalah teknologi *Upgrading Brown Coal* (Deguchi dkk., 1999 dan Shigehisa dkk., 2000) yang berhasil menaikkan nilai kalor batubara dari 3500 cal/g menjadi 6000 cal/g dengan cara menurunkan kandungan air dan melapisi permukaan batubara dengan zat pelapis (coating). Penggunaan bahan sebagai pelapis pada penelitian ini diharapkan agar batubara tidak menyerap air kembali setelah kandungan air pada batubara diturunkan setelah melalui proses pemanasan. penelitian ini difokuskan penggunaan batubara yang berasal dari alam Bayah.

Tujuan dari penelitian ini yaitu melihat pengaruh minyak jelantah (*used cooking oil*) sebagai bahan penstabil terhadap kenaikan nilai kalori serta pengurangan moisture content batubara muda Bayah.

Batubara adalah bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuhan alam lingkungan bebas oksigen yang dipengaruhi oleh panas dan tekanan yang berlangsung lama di alam dengan komposisi yang kompleks (Jauhari, M dalam Nani 2010). Proses pembentukan batubara dapat melalui proses sedimentasi dan skala waktu geologi. Pada proses sedimentasi, batubara terbentuk dari material tumbuh-tumbuhan, yang terendapkan di dalam suatu cekungan pada kondisi tertentu dan mengalami kompaksi serta transformasi baik secara fisik, kimia dan biokimia. Pada saat pengendapan, awalnya material ini selalu membentuk lapisan-lapisan yang horizontal pada cekungan bumi (Ratna dalam Nani, 2010).

Peringkat batubara ditunjukkan dari urutan: *lignite*, *sub-bituminous*, *bituminous* dan *antrasit*. Perubahan peringkat ini biasanya diikuti oleh peningkatan kandungan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

karbon secara cepat dan merata, penurunan kandungan hidrogen, oksigen, zat terbang (*volatile matter*) pengurangan air bawaan (*inherent moisture*), naiknya nilai kalor, dan juga refleksi dari vitrinit. Klasifikasi peringkat batubara ini dapat ditentukan dengan analisa proksimat dan nilai kalor, analisa ultimat, serta analisa petrografi, berdasarkan standar ASTM (*American Standard Testing Material*), atau B.S. (*British Standard*). Analisa proksimat merupakan analisa terhadap komponen-

komponen yang terkandung di dalam batubara yang terdiri: kadar air, abu, zat terbang, dan karbon padat. Analisa ultimat merupakan analisa terhadap unsur-unsur kimia yang terkandung dalam batubara, seperti kadar karbon, hidrogen, belerang, nitrogen, dan oksigen. Analisa petrografi merupakan analisa maseral batubara, seperti: *vitrinit*, *inertinit*, *leptinit/eksinit* dan nilai refleksi.

Tabel 1. Ranges Komposisi dan Karakteristik Jenis-Jenis Batubara

Kandungan	Antrasit	Bituminous	Sub-Bituminous	Lignit
Kadar Air (%)	3-6	2-15	10-25	25-45
Zat Terbang (%)	2-12	15-45	28-45	24-32
Karbon Padat (%)	75-85	50-70	30-57	25-30
Abu (%)	4-15	4-15	3-10	3-15
Belerang (%)	0.5-2.5	0.5-6	0.3-1.5	0.3-2.5
Hidrogen (%)	1.5-3.5	4.5-6	5.5-6.5	6-7.5
Karbon (%)	75-85	65-80	55-70	35-45
Nitrogen (%)	0.5-1	0.5-35	0.8-1.5	0.6-1
Oksigen (%)	5.5-9	4.5-10	15-30	38-48
Kalor (BTU/lb)	12000-13500	10000-12000	7500-10000	<7500
Densitas (g/ml)	1.35-1.7	1.28-1.35	1.35-1.4	1.4-1.45

(Wahono Eko Putranto, 2012)

Berbagai teknologi *up-grading* batubara muda telah dikembangkan di dunia. Permasalahannya adalah hampir semua proses *up-grading* yang dikembangkan, harganya masih cukup mahal dan menghasilkan limbah cair/gas yang berbahaya bagi lingkungan, karena didalam prosesnya melibatkan proses kimia/pirolisa. Akan tetapi bila batubara tersebut hanya dikeringkan saja, maka akan dihasilkan produk yang tidak stabil, karena batubara yang telah kering tersebut akan mengabsorpsi kembali uap air yang ada disekitarnya. Karena itu perlu terobosan proses baru yang sederhana/tidak mahal, tetapi dapat menyelesaikan permasalahan, dapat menghasilkan batubara sekelas bituminous, bersih dan stabil.

Upgrading brown coal merupakan suatu teknologi peningkatan nilai kalor batubara peringkat rendah menjadi produk yang relatif

sama dengan batubara peringkat tinggi yang memiliki nilai kalor tinggi dan kandungan air rendah. Proses ini sangat sederhana karena bedasarkan pengurangan kandungan air sehingga tidak ada reaksi kimia yang terjadi. Dibandingkan dengan teknologi peningkatan lainnya, seperti, *hot water drying (HWD)* atau *steam drying (SD)* yang dilakukan pada suhu di atas 275 °C dan tekanan tinggi 5.500 kPa, proses *UBC* relatif lebih sederhana (suhu antara 150 °C - 160 °C, tekanan 2 -3 atm). Umar (2010) sudah melakukan penelitian membandingkan ketiga proses untuk menaikkan kualitas batubara Bunyu-Kalimantan Timur, dari hasil penelitian diperoleh bahwa batubara sebelum *upgrading* mengandung kadar air bawaan sebesar 17,41%. Setelah *upgrading* dengan *UBC* kadar air menjadi 4,71% dan dengan proses *hot water dryer (HWD)* serta *steam drying (SD)* masing-masing 3,43% dan 1,81%. Hal ini



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

menunjukkan bahwa penurunan kadar air terbesar dicapai dengan proses *upgrading steam drying* (SD) dengan tingkat penurunan kadar air sebesar 89,6%, sedangkan proses UBC menunjukkan penurunan kadar air terendah yaitu 72,9 %. Hal ini disebabkan karena proses UBC dilakukan pada suhu lebih rendah dibandingkan dengan suhu *steam drying*. Berikut ini menjelaskan fitur dari proses UBC.

- Pada dasarnya tidak ada reaksi kimia yang terjadi dari *dewatering*, yang meminimalkan kehilangan panas dari produk dan mengurangi beban pengolahan air limbah.
- Batubara berisi air yang menguap dan dipisahkan dari batubara selama *dewatering* dalam minyak panas. Uap air dikompresi dan digunakan kembali sebagai sumber panas, yang memungkinkan untuk mengurangi konsumsi energi.
- Pori-pori dalam batubara peringkat rendah selama *dewatering* menyerap minyak berat seperti aspal, yang menstabilkan karakteristik batubara dan mencegah pembakaran spontan.
- Proses UBC terdiri dari lima langkah, yaitu: menghancurkan batubara, bubur *dewatering*, pemisahan padat/cair, *oil recovery*, dan briket.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu batubara alam Bayah dengan nilai kalori 3335,59 cal/g dan bahan pelapis (*coating agent*) yaitu minyak jelantah. Alat yang digunakan adalah *autoclave* dengan kapasitas 5L sebagai tempat untuk mencampur antara batubara dengan bahan pelapis. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah tahap pertama persiapan batubara, yaitu menghaluskan bongkahan-bongkahan batubara. Penghalusan dilakukan dengan

menggunakan *ball mill* di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik UNTIRTA. Batubara yang telah dihaluskan kemudian diayak pada ukuran 10 mesh kemudian dianalisa kandungan batubara menggunakan metode analisa proksimate (Kadar air total, Air bawaan, Kandungan debu, Zat terbang, Karbon padat, Belerang,) dan ultimate (Karbon, Hidrogen, Nitrogen, Belerang, Oksigen) dan nilai kalorinya. Dilanjutkan dengan tahap *slurry dewatering* (UBC) diawali dengan memanaskan minyak jelantah dalam autoclave sampai suhu operasi yang diinginkan lalu memasukan batubara, operasi dilakukan selama 1,5 jam dengan menggunakan temperatur operasi 140 °C , 150 °C, 160 °C dengan tekanan atmosferik (1 ata). Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada batubara. Kemudian melakukan pemisahan batubara dengan minyak panas, baubara yang telah dipisahkan dimasukkan kedalam oven pada temperatur pengeringan 150 °C. Batubara yang telah dimasukkan ke dalam oven merupakan produk batubara akhir dari proses *slurry dewatering*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada batubara muda alam Bayah dengan kandungan air dan abu yang tinggi serta nilai kalori yang rendah. Dalam proses *slurry dewatering* pada penelitian ini dilakukan pada temperature 140, 150 dan 160 °C dan tekanan 1 ata selama 1.5 jam dengan menggunakan rasio berat yang sama antara batubara dan pelarut, yaitu 1:1. Tujuan penambahan minyak yaitu sebagai *coating agent* (penstabil) yang diharapkan mampu mereduksi kandungan air dalam poros batubara (pori-pori) dan membentuk sifat hidrofob, sehingga batubara tidak akan mengikat air kembali. Berikut adalah tabel yang berisi data analisa batubara sebelum dan sesudah perlakuan *dewatering*:



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

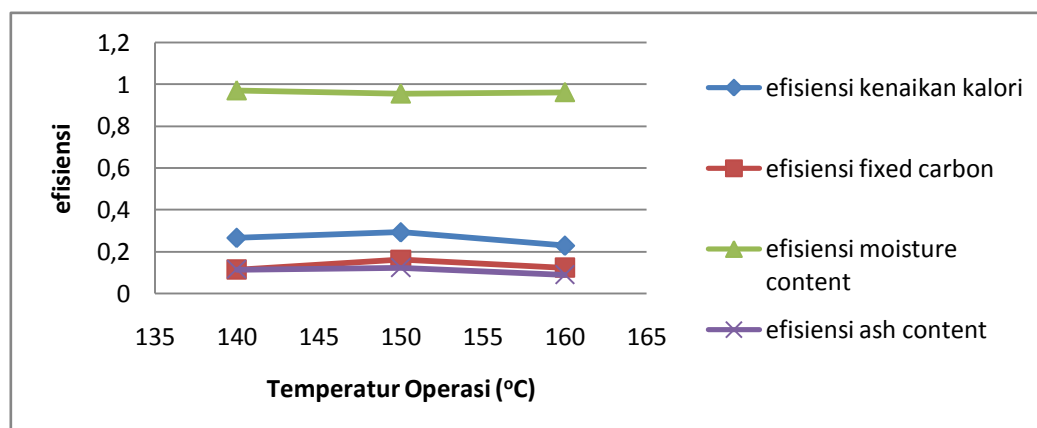
Tabel 2. Hasil analisa batubara sebelum dan sesudah perlakuan dewatering

	HV (cal/g)	fixed carbon (%wt)	moisture content (%wt)	Ash Content	Efisiensi Kalori (%)	Efisiensi fixed carbon (%)	Efisiensi moisture content (%)	Efisiensi ash content (%)
Raw Coal	3335.9	19.79	35.01	49.81	-	-	-	-
140	4227	22.07	1.01	44.01	26.7124	11.521	97.1151	11.6442
150	4315	23	1.55	43.62	29.3504	16.2203	95.5727	12.4272
160	4102	22.27	1.31	45.33	22.9653	12.5316	96.2582	8.9942

Tabel diatas merupakan empat parameter yang diamati, yaitu moisture content, fixed carbon, Gross calorific value dan ash content.

Fixed carbon merupakan kadar karbon yang pada temperatur penetapan volatile matter tidak menguap, sementara ash content adalah istilah parameter setelah batubara dibakar dengan sempurna, material yang tersisa dan tidak terbakar adalah ash atau abu sebagai sisa pembakaran. Moisture content dibedakan menjadi dua, yaitu inherent moisture dan exterior moisture (free

moisture), inherent moisture hampir menyatu dengan struktur molekul batubara sehingga tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan dibawah 100 °C ataupun secara mekanik. Sedangkan free moisture dapat dihilangkan dengan cara mengoven batubara pada ambient temperatur. Keempat parameter yang diamati setelah proses dewatering menunjukkan hasil, bahwa pada proses slurry dewatering menggunakan minyak jelantah temperatur operasi optimum adalah 150 °C.



Gambar 1. Grafik efisiensi untuk 4 parameter batubara yang dianalisa

Dari data yang tersaji pada tabel 1, dapat dibuat suatu grafik kartesius untuk memudahkan dalam segi pembacaan. Pada gambar 1 terlihat pemetaan berupa setiap temperature operasi yang dilakukan untuk dewatering, terjadi kenaikan nilai kalori dan fixed carbon, namun terjadi penurunan nilai ash content dan moisture content. Grafik tersebut juga menunjukkan temperature optimum untuk penggunaan jelantah sebagai coating agent metode UBC adalah pada

temperatur 150 °C. Pada suhu 140 sampai 150 °C terjadi kenaikan nilai GCV serta turunnya ash content, namun pada suhu 160 °C terjadi penurunan nilai GCV yang bahkan lebih rendah dibanding pada suhu 140 oC. Meninjau dari parameter minyak sebagai media pemanas, hal yang diperkirakan terjadi adalah pada keadaan suhu diatas 150 °C molekul-molekul minyak teroksidasi dan menyebabkan kerusakan pada minyak, sehingga kemampuan minyak untuk



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

mereduksi air kedalam pori-pori batubara menjadi rendah. Pada efisiensi ash content berbanding terbalik dengan nilai kalori yang dihasilkan. Garis efisiensi penurunan moisture sangat tidak konsisten, mengingat bila moisture dapat ditekan penurunannya, maka nilai kalori akan naik, sedangkan dalam data yang ditunjukkan tidak berlaku teori tersebut. Kerusakan pada minyak diakibatkan oleh lamanya kontak antara minyak dengan sumber panas ataupun suhu pemanasan yang tidak stabil, rentang (gap nya besar), sehingga molekul minyak yang seharusnya masuk ke dalam pori batubara, hanya menempel dipermukaan saja dan menghalangi air yang terjebak dalam pori batubara untuk menguap. Apabila mengacu kepada sifat thermal, seharusnya pada T 160 oC diraih persentase yang optimum untuk setiap efisiensi.

Berikut paparan analisa yang diajukan oleh peneliti, dalam menanggapi hal ini:

- Temperature operasi dewatering yang tidak dijaga konstan (fluktuatif), sehingga panas yang ditransferkan dari pelat secara konduksi ke minyak tidak merata, sehingga kemampuan minyak untuk mendorong air yang terdapat dalam pori-pori batubara tidak merata dan kurang efektif.
- Kondisi dalam autoclave berupa kenaikan tekanan karena terdapat fasa uap namun tidak pada setiap variasi terjadi (pada temperatur 140 dan 160 oC). Dengan naiknya tekanan kemampuan minyak untuk menyisip kedalam pori batubara semakin baik, dikarenakan mampat yang terjadi.
- Proses pencampuran yang kurang efektif, dibuktikan dengan adanya batubara yang tidak ikut terendam bersama minyak panas, namun berada pada dinding dan pada bagian atas autoclave (penutup) dikarenakan tingginya rpm pengaduk, terdapatnya vortex karena tidak adanya baffle (sekat).
- Metode pemisahan pelarut yang kurang tepat, yakni pemakaian oven, membuat

partikel-partikel minyak yang hanya menempel pada bagian luar batubara, ikut teruapkan karena panas oven, sehingga partikel-partikel yang berfungsi mencegah reabsorpsi air ke permukaan batubara kehilangan fungsinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswati, Nani. 2010. *Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia Melalui Teknik Slurry Dewatering*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Couch. G.R., 1990, "Lignite Up-Grading", IEA Research
- Deguchi, T., Shigehisa, T., and Shimasaki, K., 1999, "Study on Upgraded Brown Coal Process for Indonesian Low Rank Coals", Proc. International Conference on Clean and Efficient Coal Technology in Power Generation, Indonesia, pp 176 – 180
- Eko Putranto, Wahono. *Studi Eksperimen Karakteristik Bahan Bakar Batubara Cair Sebagai Pengganti HFO dengan Menggunakan Batubara Peringkat Rendah Melalui Proses Upgrading*. Tugas sarjana Institut Teknologi Sepuluh November Semarang.
- Erna Komarian, Wulan. 2012. *Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro*. Tesis Magister Teknik Universitas Indonesia Depok.
- Faniatama Putra, Firmansyah. 2013. *Upaya Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah dengan Menggunakan Minyak Pelumas Bekas dan Minyak Tanah Melalui Proses Upgrading*. Jurnal Penelitian fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda.
- Hartiniati. 2010. *Proses Peningkatan Mutu Batubara Muda (Lignite) Menjadi Exportabel Coal atau Batubara Layak Ekspor/Jual*. Pyusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi Jakarta.
- Noviyani. 2011. *Pemanfaatan Proses Upgraded Brown Coal (UBC) Untuk Pemasakan*

**Seminar Nasional Intergrasi Proses***"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"**Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**Cilegon, 27 November 2014*

Briket Di Rumah Tangga. skripsi Program Ekstensi Teknik Kimia Universitas Indonesia Depok.
<http://eprints.undip.ac.id/365744/bab2-Bambang-S.pdf> diunggah pada 21 Februari 2014.

<http://pertambangan-geologi.blogspot.com/2011/03/potensi-batubara-di-provinsi-banten.html> diunggah pada tanggal 1 Mei 2014



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENGARUH MINYAK PELUMAS BEKAS PADA PROSES UBC UNTUK MENINGKATKAN KALORI BATUBARA BAYAH

Widya Ernayati K.^{1*}, HeriHeriyanto, AhmadJuproni, RosikhaTaqi

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl.Jendral Sudirman km.3 Cilegon, Banten

*Email: herfais@yahoo.com

Abstrak

Rendahnya nilai kalor batubara daerah Bayah, Banten Selatan membuat batubara Bayah kurang diminati oleh industri. Sehingga diperlukan teknik khusus untuk menaikkan nilai kalor batubara Bayah salah satunya dengan teknik UBC (*Upgraded Brown Coal*) Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor batubara Alam Bayah dengan metode UBC (*Upgraded Brown Coal*) melalui pengaruh temperatur pemanasan. Proses UBC dilakukan dengan cara memanaskan batubara pada temperatur 130 °C, 140 °C, dan 150° C yang bertujuan untuk menguapkan kandungan air bawaan dalam batubara dimana dalam proses ini batubara dibuat *slurry* dengan pelarut minyak tanah (*light oil*) yang dicampur dengan aditif berupa oli bekas (*heavy oil*) sebagai *coating agent*. Pori-pori batubara yang terbuka akan diisi oleh aditif yang akan menutup permukaan batubara sehingga batubara tidak akan menyerap air kembali meskipun ditempatkan di tempat terbuka. Tingginya temperatur selama proses pemanasan menjadikan kandungan air dan *volatile matter* pada batubara menguap. Selain itu, proses pemanasan akan menaikkan jumlah karbon terikat (*fixed carbon*) sehingga dengan naiknya *fixed carbon* maka nilai kalor batubara akan meningkat.

Kata kunci : Nilai kalor, UBC, Kandungan air

1. PENDAHULUAN

Kenaikan harga serta menipisnya cadangan minyak bumi dan gas alam baik di dunia maupun di Indonesia merupakan dua faktor yang menyebabkan perlunya mencari sumber energi alternatif yang memiliki nilai ekonomis. Indonesia dikenal sebagai negara dengan potensi kekayaan alam yang melimpah diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam mengatasi krisis energi saat ini. Kurniawan (2012) menyebutkan bahwa batubara merupakan salah satu komoditi sumber daya alam yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan di Indonesia dan merupakan bahan tambang strategis dalam penyediaan sumber energi suatu negara karena harga minyak dunia yang semakin tinggi. Produksi batubara Indonesia diperkirakan akan mengalami kenaikan di

masa yang akan datang. Prediksi kenaikan produksi batubara di Indonesia merupakan implikasi diberlakukannya beberapa regulasi pemerintah dalam upaya konversi pemakaian bahan bakar minyak menjadi bauran energi lainnya. Batubara merupakan sumber mineral yang dapat dijadikan alternatif untuk mengatasi krisis energi dalam waktu dekat. Batubara diharapkan dapat menjadi jembatan dari energi konvensional (energi minyak) ke energi yang non-konvensional yang lebih bersih dan dapat diperbaharui.

Badan Pusat Statistik dalam Kurniawan (2012) menyebutkan bahwa pada tahun 2010 produksi batubara Indonesia mencapai 325 juta ton. Tim Kajian Batubara Nasional (2006) menyebutkan bahwa cadangan batubara tiap propinsi di Indonesia mencapai 6758,90 juta ton, dengan kualitas terdiri dari empat kelas



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yaitu kualitas kelas rendah (lignit), kelas sedang (sub-bitumius), kelas tinggi (bitumius) dan kelas sangat tinggi (atrasit).

Untuk wilayah Banten batubara banyak ditemukan di daerah Banten Selatan tepatnya di daerah Bayah. Menurut Tim Kajian Batubara Nasional (2006) batubara Bayah dapat ditemukan dengan mudah dan jumlahnya pun berlimpah sekitar 13,31 juta ton. Sayangnya batubara tersebut didominasi oleh batubara kelas sedang sampai rendah. Maka diperlukan teknik khusus untuk meningkatkan kualitas batubara tersebut menjadi batubara dengan kualitas yang lebih tinggi.

Menurut Katsuya (2011) metode yang dapat dilakukan dalam *upgrading low rank coal* antara lain dengan *Press Dewatering*, *Hot Water Drying* (HWD), *Steam Tube Drying* (STD) *Steam Fluidized Bed Dryer* (SFBD), *Fleissner*, *Kfuel+*, *Encoal*, *Syncoal*, *Kfuel* dan *Upgraded Brown Coal* (UBC). Dalam penelitian ini metode yang akan digunakan adalah UBC, metode ini dipilih karena merupakan salah satu teknologi yang cukup sederhana dan dibandingkan dengan teknologi lainnya. Dalam metode ini digunakan pemanfaatan oli bekas sebagai aditif. Meningkatnya volume kendaraan yang ada di Indonesia yaitu sebesar 9% per tahun (Badan Pusat Statistik, 2012) menyebabkan semakin banyaknya oli bekas yang dihasilkan. Sayangnya pemanfaatan oli bekas hanya sebatas untuk membakar batu kapur (Purwono dalam Raharjo, 2007), sehingga berpotensi menjadi limbah yang mencemari lingkungan. Salah satu cara untuk mendaur ulang limbah oli tersebut adalah dengan memanfaatkannya sebagai aditif dalam menaikkan nilai kalori batubara kelas rendah (*Low Rank Coal*) sebagai sumber energi alternatif yang memiliki nilai ekonomis.

Katsuya (2011) menyebutkan bahwa *Upgraded Brown Coal* (UBC) merupakan teknik peningkatan kualitas (*upgrading*) batubara peringkat rendah melalui penurunan kadar air total yang dikembangkan oleh Kobe Steel Ltd., Jepang.

Teknik UBC dilakukan dengan cara *mixing*, *slurry dewatering*, dan *drying*. Umar (2010) telah meneliti bahwa nilai kalor batubara peringkat rendah meningkat sekitar 22, 46 % yaitu dari 4.697 kal/g menjadi 5.752 kal/g dan kadar air berkurang menjadi 4,71 % dari 17,41 %. Hal ini menunjukkan bahwa metode UBC cukup efektif dalam mengurangi kadar air bawaan pada batubara sehingga dengan berkurangnya kadar air bawaan tersebut maka nilai kalorinya akan semakin tinggi serta dapat meningkatkan nilai ekonomisnya.

Tulisan ini akan membahas bagaimana pengaruh pengaruh penambahan minyak pelumas bekas terhadap peningkatan nilai kalori batubara Bayah dengan proses UBC (*Upgrading Brown Coal*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Menurut Sulistyono (2012) dan Aswati (2011) batubara adalah salah satu bahan bakar fosil berupa batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari akumulasi endapan organik dan sisa-sisa tumbuhan yang mengalami proses pembatubaraan selama jutaan tahun

2.2 Proses UBC

Penurunan kadar air dalam batubara dapat dilakukan dengan cara mekanik atau perlakuan panas. Pengeringan cara mekanik efektif untuk mengurangi kadar air bebas dalam batubara basah, sedangkan penurunan kadar air bawaan harus dilakukan dengan cara pemanasan. Salah satu proses dengan cara ini adalah UBC (*Upgraded Brown Coal*) yang diperkenalkan oleh Kobe Steel Ltd., Jepang (Katsuya, 2011).

Proses pemanasan batubara sampai temperatur tertentu menyebabkan terjadinya perubahan komposisi struktur batubara. Dengan memanaskan batubara, terjadi perubahan kimia karena menguapnya air bawaan, dekomposisi gugus karboksil, penyusutan gas-gas hidrogen dan oksigen kompleks serta aromatisasi. Komposisi dan sifat produk akhir akan bervariasi tergantung pada temperatur pemanasan



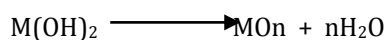
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

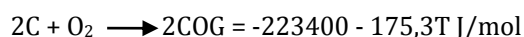
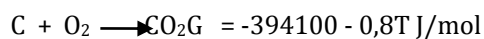
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Selama proses pemanasan akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan produk gas atau cairan yang banyak berhubungan dengan sistem pori-pori batubara (Samsudin, 1996 dalam Umar, 2010). Kehilangan sejumlah massa bahan-bahan penyusun batubara melalui pori-pori, menyebabkan terjadi kekosongan pori-pori tersebut. Oleh sebab itu sifat fisik yang memegang peranan penting pada proses pemanasan adalah porositas. Porositas batubara tersebut menyangkut sistem pori-pori yang dimiliki. Porositas batubara dapat menyebabkan terjadinya difusi keluar uap air, metana dan zat lain yang mudah menguap dari batubara selama terjadi pemanasan. Dalam proses UBC, batubara dicampur dengan minyak residu kemudian dipanaskan pada tekanan dan temperatur yang relatif rendah. Dengan minyak residu tersebut, maka pori-pori batubara yang terbuka akan diisi oleh residu dan menutup permukaan batubara sehingga air yang telah keluar tidak akan terserap kembali.

Menurut Tsai (1982) dalam Umar (2010), pada temperatur 100 - 120°C terjadi reaksi endotermis. Pada reaksi ini terjadi penguapan air, dimana air yang menguap berupa air bebas, air terikat secara fisik dan air yang terjebak dalam struktur pori-pori batubara. Penguapan air bebas akan berperilaku sama dengan pengeringan secara umum, sedangkan penguapan air bawaan dianalogikan dengan air kristal atau hidroksida dengan reaksi sebagai berikut:



Secara termodinamika, reaksi antara batubara dengan oksigen adalah:

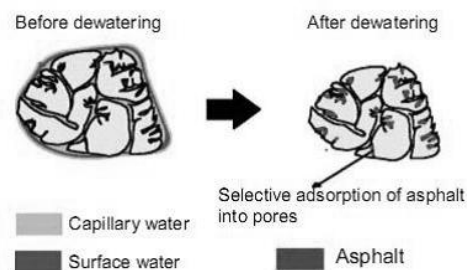


Adanya reaksi seperti di atas pada proses pengeringan batubara tidak dikehendaki, oleh karena itu diperlukan suatu kondisi pemanasan yang *inert*. Secara termodinamika, reaksi ini berlangsung pada berbagai temperatur, tetapi perlu aktivasi yang cukup

besar, maka reaksi berlangsung harus pada temperatur di atas 1200C.

Dalam melakukan pemanasan batubara terdapat tiga daerah (pemanasan) yang berpengaruh terhadap terjadinya dekomposisi, yaitu pemanasan di bawah temperatur dekomposisi, daerah dekomposisi aktif dan pemanasan di atas temperatur dekomposisi. Dekomposisi aktif disini adalah terdekomposisinya maceral penyusun batubara menjadi tar dan penguapan air.

Pemanasan batubara pada temperatur dekomposisi aktif, yaitu >200 C, menyebabkan terjadinya penguapan air bebas, air bawaan/terikat secara kimia, tar, hydrogen, CO₂, CO dan hidrokarbon. Pada proses pengeringan batubara dengan temperatur pemanasan sekitar 150°C, pengeluaran tar dari batubara belum sempurna sehingga perlu ditambahkan zat aditif sebagai penutup permukaan batubara seperti kanji, tetes tebu (*mollase*) dan minyak residu. Untuk proses UBC sebagai aditif digunakan minyak residu yang merupakan suatu senyawa organik yang beberapa sifat kimianya mempunyai kesamaan dengan batubara. Dengan kesamaan sifat kimia tersebut, minyak residu yang masuk ke dalam pori-pori batubara akan kering kemudian bersatu dengan batubara. Lapisan minyak ini cukup kuat dan dapat menempel pada waktu yang cukup lama sehingga batubara dapat disimpan di tempat terbuka untuk jangka waktu cukup lama (Couch, 1990 dalam Umar, 2010). Gambar 2 menunjukkan sifat permukaan batubara sebelum dan sesudah proses pengeringan.



Gambar 1. Permukaan Batubara Sebelum dan Sesudah Proses UBC
(sumber : Katsuya, 2011)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Batubara hasil proses UBC dapat dikatakan kering jika air total sama dengan air lembab, sementara kondisi *equilibrium moisture* adalah kadar air setelah mencapai kesetimbangan. Kadar air lembab batubara hasil proses UBC turun secara signifikan sehingga nilai kalor menjadi naik menyamai batubara bituminous. Proses UBC tidak mengubah kandungan abu dan belerang dalam batubara tersebut (Umar, 2012).

3. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Batubara alam Bayah yang merupakan batubara dengan nilai kalor 3335,59 kkal/kg. Tujuan dari penggunaan minyak pelumas bekas ialah untuk melapisi permukaan batubara agar setelah proses kualitas batubara tetap stabil tanpa adanya air yang kembali terserap oleh batubara. *Kerosine* (minyak tanah) berfungsi untuk melarutkan sejumlah pengotor yang terdapat dalam minyak pelumas bekas dan batubara (Putra, 2013).

Alat yang digunakan adalah Reaktor Batch yang berfungsi untuk mencampur batubara dengan media minyak serta sebagai alat evaporasi yang berfungsi untuk menguapkan bahan-bahan pengotor (sulfur dan air), dekanter yang berfungsi untuk memisahkan pelarut dan batubara, dan oven untuk pengeringan batubara.

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah tahap pertama persiapan batubara terdiri atas penghalusan bongkahan-bongkahan batubara. Penghalusan dilakukan dengan menggunakan Ball Mill di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Untirta. Batubara yang telah dihaluskan kemudian dianalisa kandungannya yaitu analisa *proximate* (Kadar air total, Air bawaan, Kandungan debu, Zat terbang, Karbon padat, Belerang,) dan *ultimate* (Karbon, Hidrogen, Nitrogen, Belerang, Oksigen) serta nilai kalorinya. Dilanjutkan dengan Proses *Upgrading Brown Coal* (UBC) dimulai dengan mencampurkan minyak

kerosin, oli bekas, dan batubara dengan perbandingan 0,75 : 1 : 1,25 kemudian diaduk selama 10 menit. Selanjutnya masuk pada *slurry dewatering* dengan melakukan pemanasan dengan suhu 130 °C, 140 °C, dan 150 °C selama 60 menit. Proses pemanasan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada batubara. Selama pemanasan maka tekanan dalam reaktor akan naik sehingga akan membantu penguapan kadar air bawaan dan zat-zat lainnya. Proses selanjutnya (*coal oil separation*) yaitu pemisahan batubara dengan *heavy oil* yang berlangsung pada kisaran suhu 50 - 60 °C yang bertujuan untuk memisahkan batubara dengan minyak. Tahap berikutnya yaitu pengeringan dengan suhu 180 °C selama 2 jam menggunakan *drying oven*. Batubara hasil *upgrading* dianalisa kembali kandungannya dengan analisa *proximate* dan *ultimate* serta nilai kalorinya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk meningkatkan kualitas batubara maka digunakan campuran minyak pelumas bekas dan *kerosine* (minyak tanah). Minyak pelumas bekas berfungsi untuk menyelimuti permukaan batubara sehingga mampu menjaga kestabilan air bawaan dalam batubara. Minyak tanah berfungsi untuk melarutkan sejumlah pengotor yang terdapat dalam minyak pelumas bekas dan batubara (Putra, 2013). Hasil dari penelitian didapatkan produk batubara yang spesifikasinya sesuai dengan tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 di atas terlihat bahwa minyak tanah belum sepenuhnya mampu untuk melarutkan sejumlah pengotor yang terdapat dalam batubara dan minyak pelumas bekas. Hal ini terlihat bahwa keseluruhan sampel batubara hasil proses *upgrading* memiliki nilai kandungan abu dan zat terbang yang tinggi dibandingkan dengan kandungan abu dan zat terbang pada sampel batubara yang tidak mengalami proses *upgrading*. Kandungan abu yang terdeteksi merupakan partikel pengotor yang terdapat dalam campuran hasil proses *upgrading*. Sedangka



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

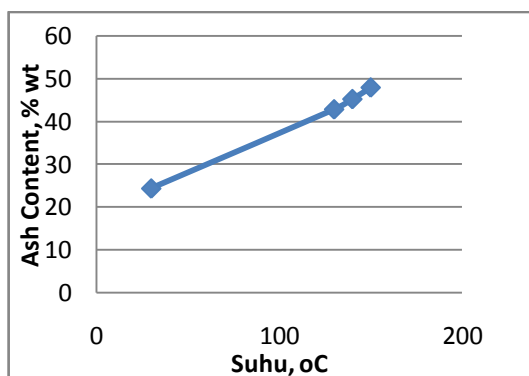
zat terbang berasal dari minyak yang 2013).
menempel pada permukaan batubara (Putra,

Tabel 1. Hasil analisa batubara sebelum dan sesudah perlakuan dewatering

	Nilai Kalori (Kcal/Kg, adb)	Fixed Carbon (% Wt)	Moisture Content (% Wt)	Ash Content (% Wt)	Volatile Matter (% Wt)	Total Sulfur Content (% Wt)
Raw Coal	3335,59	19.79	3	24.38	24,52	2.8
130°C	4406	26.91	1.59	42.84	28,66	0
140°C	4222	25.13	1.4	45.23	28,24	0
150°C	4015	22.93	1.4	47.93	27,74	0

4.1 Pengaruh Suhu Evaporasi terhadap Kandungan Abu (*Ash Content*)

Kandungan abu yang terdeteksi merupakan partikel pengotor yang terdapat dalam campuran proses *upgrading* (Putra, 2013). Kandungan abu tersebut nantinya akan tertinggal saat batubara dibakar. Disini kerosin juga berperan sebagai pelarut sejumlah pengotor yang terdapat dalam batubara dan minyak pelumas bekas.



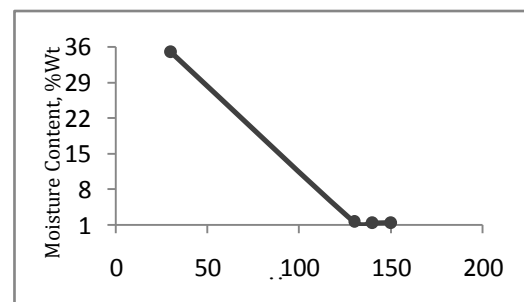
Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu terhadap *Ash Content* Batubara

Berdasarkan hasil analisa, kandungan abu batubara produk meningkat seiring dengan kenaikan suhu evaporasi. Hal ini menunjukkan semakin tinggi temperatur maka semakin banyak air yang teruapkan sehingga pori-pori pada batubara semakin besar yang mengakibatkan semakin banyaknya minyak pelumas bekas yang teradsorpsi. Dengan banyaknya minyak pelumas bekas yang teradsorpsi maka kandungan abu (*ash content*) dalam batubara hasil *upgrading*. Suhu

optimum dalam pengurangan *ash content* adalah pada suhu 130°C.

4.2 Pengaruh Suhu Evaporasi terhadap *Moisture Content*

Tingginya nilai *moisture content*, menunjukkan besarnya porositas pada batubara yang menyebabkan banyaknya *moisture* yang terserap didalamnya. Hal tersebut akan mengurangi kualitas batubara.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu terhadap *Moisture Content* Batubara

Berdasarkan hasil analisa, nilai *moisture content* batubara produk berkurang dari 35,01 % menjadi 1,59 % pada suhu 130°C, dan 1,4% pada suhu 140°C dan 150°C. Hal ini menunjukkan suhu optimum penurunan *moisture content* adalah pada suhu 140°C dan 150°C.

4.3 Pengaruh Suhu Evaporasi terhadap *Fixed Carbon*

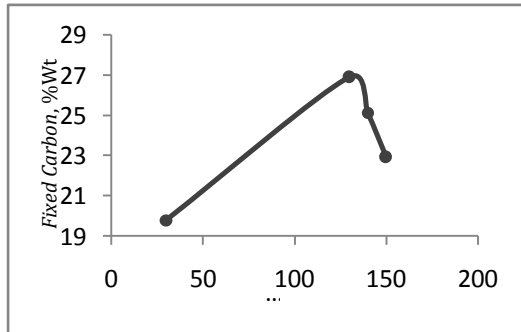
Nilai *fixed carbon* batubara dipengaruhi oleh *moisture content*, *ash content*, dan *volatile matter*. Jumlah *fixed carbon* yang terkandung dalam batubara akan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

mempengaruhi nilai kalori pada batubra. Semakin besar *fixed carbon* yang terkandung maka nilai kalori pada batubara akan semakin meingkat.

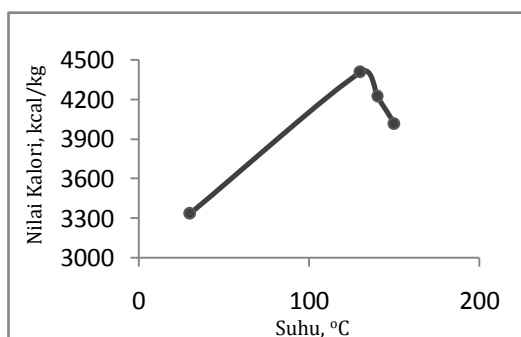


Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu terhadap *Fixed Carbon* Batubara

Berdasarkan hasil analisa, nilai *fixed carbon* batubara produk berkurang dari yang awalnya 27,5% menjadi 26,91 % pada suhu 130°C, 25,13% pada suhu 140°C dan 22,93% pada suhu150°C. Hal ini menunjukkan semakin tinggi suhu evaporasi maka nilai *fixed carbon* akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena *ash content*-nya mejadi semakin besar.

4.4 Pengaruh Suhu Evaporasi terhadap Nilai Kalori

Nilai kalori batubara dipengaruhi oleh *moisture*, *ash content*, dan *fixed carbon*. Semakin tinggi kadar *moisture* dan *ash content* pada batubara maka nilai kalori akan semakin rendah. Semakin besar *fixed carbon* yang terkandung maka nilai kalori pada batubara akan semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Nilai Kalori Batubara

Berdasarkan hasil analisa, nilai kalori batubara produk meningkat dari yang awalnya 3335,59 menjadi 4406 pada suhu 130°C, 4402 pada suhu 140°C dan 4015 pada suhu150°C. Hal ini menunjukkan suhu evaporasi optimum ada pada suhu 130°C.

5. KESIMPULAN

- Suhu optimum *dewatering* diperoleh pada suhu 130 oC dengan nilai kalori sebesar 4406 Kcal/Kg adb.
- Kandungan abu (*ash content*) akan semakin besar seiring dengan naiknya suhu pemanasan. Sedangkan, *moisture content* dan kandungan sulfur total akan semakin berkurang seiring naiknya suhu pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswati, N. 2011. *Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia Melalui Teknik Slurry Dewatering*. Universitas Indonesia. Depok.
- Katsuya, A. 2011. *Study on Development of Ecological and Highly Efficient Combustion Technology for Upgraded Brown Coal (UBC)*. Nagoya University. Japan.
- Kurniawan, A., Prabowo. 2012. *Studi Numerik Pengaruh Variasi Temperatur Air Heater terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Fluidized Bed Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 1, No. 1, ISSN: 2301-9271, hal. 159
- Putra, F. F. 2013. *Upaya Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah dengan Menggunakan Minyak Pelumas Bekas dan Minyak Tanah melalui Proses Upgrading*. Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Raharjo, W. P. 2007. *The Use of TEA in Ex. Oil Filtering Process as the Material for Alumunium Melting*. Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi Vol.8, No.2, hal. 166-184.
- Sulistiyono, D. 2012. *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Batubara di Kabupaten Sintang*. Jurnal ELKHA Vol.4, No.2, hal.38

**Seminar Nasional Intergrasi Proses***"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"**Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**Cilegon, 27 November 2014*

Umar, D. F. 2010. *Pengaruh Proses Upgrading terhadap Kualitas Batubara Bunyu, Kalimantan Timur*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, ISSN: 1411-4216, hal. 1.

Umar, D. F., Daulay, B. 2012. *Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah*

dengan Teknologi Upgraded Brown Coal (UBC). Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.

Tim Kajian Batubara Nasional. 2006. Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara



PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BIOMASSA DAN TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP KUALITAS BRIKET

Endang Suhendi^{1*}, Caturwati NK, Fernando A.

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*Email : endangs.untirta@gmail.com

Abstrak

Biomassa sangat berlimpah di Indonesia merupakan potensi yang besar untuk diolah serta dimanfaatkan sebagai energi alternatif guna membantu menopang kebutuhan energi yang terus meningkat. Salah satu cara pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif adalah dengan mengolahnya menjadi briket. Tujuan dari percobaan biobriket ini adalah mengetahui pengaruh komposisi biomassa dan temperatur pirolisis briket terhadap karakteristik. Prosedur percobaan yaitu Preparasi bahan baku, proses pirolisis dan pembuatan briket. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa briket dengan komposisi 75% Kulit durian (KD) dengan temperatur pirolisis 550°C menghasilkan briket dengan nilai kalor tertinggi sebesar 5572 kalori/gr, nilai kerapatan sebesar 0,95 gr/cm³, kuat tekan sebesar 0,46-0,52MPa.

Kata kunci : Pirolisis, Karakteristik, Kulit Durian dan Sabut Kelapa

Abstract

Biomass is very abundant in Indonesia is a great potential to be processed and used as an alternative energy to help support the growing energy needs. One way of utilization of biomass as an energy alternative is to process it into briquettes. The purpose of this experiment was to determine the effect biobriquet composition and temperature pyrolysis of biomass briquettes to the characteristics. The experimental procedure is preparation of raw materials, pyrolysis and briquetting. The final conclusion is that the briquettes with a composition of 75% Caucasian durian (KD) with pyrolysis temperature 550oC produce briquettes with high calorific value of 5572 calories / g, a density value of 0.95 g / cm³, compressive strength of 0.46 to 0, 52MPa.

Keywords: *Pyrolysis, Characteristics, Leather Durian and Coconut Fiber*

1. PENDAHULUAN

Sampai saat ini bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan di dunia. Bahan bakar fosil tergolong tidak terbarukan dan tidak ramah lingkungan. Sedangkan kebutuhan akan energi dalam kehidupan akan terus meningkat. Dengan berkurangnya cadangan minyak dunia, penghematan energi mulai diluncurkan di seluruh negara. Indonesia kini telah menjadi negara pengimpor minyak mentah untuk mencukupi kebutuhan energi sehingga perlu suatu usaha untuk mengurangi

ketergantungan terhadap bahan bakar migas. Indonesia memiliki banyak sumber daya alam yang sangat potensial untuk membantu menopang kebutuhan energi dalam negeri dengan energi alternatif yang tergolong energi terbarukan, diantaranya ada yang belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi alternatif. Namun biasanya briket yang diteliti hanya berbahan dasar satu jenis biomassa. Nilai kalor yang dihasilkan hanya berdasarkan nilai kalor satu jenis biomassa tersebut. Untuk itu perlu dilaksanakannya penelitian tentang pengaruh



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

briket yang berbahan dasar lebih dari satu biomassa. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran tentang komposisi yang tepat untuk meningkatkan nilai kalor dari briket yang diproduksi.

Biomassa yang akan dijadikan briket pada penelitian ini adalah kulit durian dan sabut kelapa. Kulit durian dan sabut kelapa dipilih sebagai bahan dasar briket pada penelitian ini karena ketersediaannya cukup banyak serta pemanfaatan dua jenis biomassa ini belum termaksimalkan bahkan cenderung dikategorikan sebagai sampah dan limbah. Dengan memanfaatkan kedua jenis biomassa ini juga diharapkan mampu mengatasi permasalahan pengolahan sampah dan limbah berupa kulit durian dan sabut kelapa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Sumber daya energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan. Sumber energi yang termasuk energi terbarukan adalah energi panas bumi, energi surya, energi angin, energi ombak, biomassa serta biofuel. Pengembangan energi terbarukan adalah upaya mitigasi dari resiko gejolak kenaikan harga minyak dunia serta upaya mitigasi dampak emisi karbon yang menyebabkan pemanasan global. Sekarang dan dimasa yang akan datang energi terbarukan akan lebih *secure* dan lebih tinggi *environmental sustainability* nya (Herman Darnel Ibrahim, 2008).

2.2 Biomassa Sebagai Sumber Energi

Biomassa adalah suatu limbah benda padat yang bisa dimanfaatkan lagi sebagai sumber bahan bakar. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu sumber energi ini dapat

dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*),

2.3 Konversi Termal Biomassa

Teknologi konversi termal biomassa meliputi pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis atau karbonisasi. Teknologi konversi termal berikutnya adalah pirolisis, yang berarti penguraian biomassa (*Lysis*) karena panas (*Pyro*) pada suhu yang lebih dari 150°C. pada proses pirolisis terdapat beberapa tingkatan proses, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisa primer. Pirolisis merupakan pembakaran biomassa pada kondisi tanpa oksigen. Tujuannya adalah melepaskan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung pada biomassa. Secara umum kandungan zat terbang dalam biomassa cukup tinggi.

2.4 Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata Pyro (Fire/Api) dan Lyo (Loosening/pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert. Proses ini menghasilkan uap organik, gas pirolisis dan arang. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai Bio-oil. (Awaluddin, 2007).

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu (Goyal, dkk, 2006) :

a. Pirolisis lambat (*Slow pyrolysis*)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5 – 7°K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

- b. Pirolisis cepat (*Fast pyrolysis*)
Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,2 – 2 detik, suhu 400 – 600°C dan pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis hingga 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.
- c. Pirolisis kilat (*Flash pyrolysis*)
Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Flash pyrolysis pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250 µm.
- d. Pirolisis katalitik biomassa
Pirolisis katalitik biomassa untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa, tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sample yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

2.5 Spesifikasi Bahan Bakar Padat (briket)

1. Nilai Kalor (*heating value*)
Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh satu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari (3,5-4,5)°C, dengan satuan kalori. Dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar di dalam zat asam. Makin tinggi berat jenis bahan bakar, makin rendah nilai kalor yang diperolehnya.
2. Kandungan Air (*moisture*)

Air yang terkandung dalam kayu atau produk kayu dinyatakan sebagai kadar air. Kadar air bahan bakar padat ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam bahan bakar padat dengan berat kering bahan bakar padat tersebut.

3. Kandungan Abu (*ash*)
Abu atau disebut dengan bahan mineral merupakan bahan yang tidak dapat terbakar. Abu adalah bahan yang tersisa apabila kayu dipanaskan hingga berat konstan.
4. Kandungan Karbon Tetap (*fixed carbon*)
Komponen yang bila terbakar tidak membentuk gas yaitu karbon tetap atau disebut *fixed carbon*. Kadar karbon terikat adalah fraksi karbon dalam arang selain fraksi abu, zat mudah menguap dan air, perhitungan kadar karbon. Kandungan *fixed carbon* adalah kandungan karbon tetap yang terdapat pada bahan bakar padat yang berupa arang.
5. Kandungan Zat Terbang (*volatile matter*)
Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada biobriket maka biobriket tersebut akan semakin mudah untuk terbakar dan menyala. Volatile matter dalam bahan bakar berfungsi untuk menstabilkan nyala dan percepatan pembakaran arang.
6. Kerapatan
Kerapatan sangat bergantung dari kekasaran bahan baku. Semakin kecil ukuran bahan baku, maka kerapatannya semakin besar. Kerapatan didapat dari perbandingan massa persatuan volume briket.
7. Kuat Tekan
Kuat tekan adalah besarnya beban yang mampu menghancurkan briket persatuan luas penampang yang ditekan. Semakin tinggi kerapatan briket, semakin tinggi pula kuat tekannya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Pembuatan briket campuran kulit durian dan sabut kelapa ini diawali dengan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

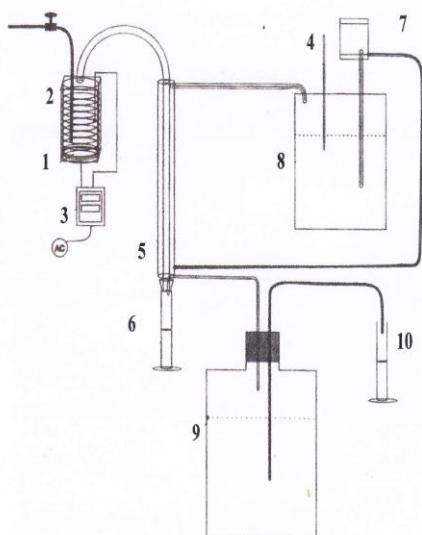
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

mengumpulkan bahan baku kulit durian dan sabut kelapa. Pengambilan dan pengumpulan kulit durian dilakukan di Pondok Durian Runtuhan Jl.Raya Pandeglang-Banten. Sedangkan pengambilan dan pengumpulan sabut kelapa dilakukan di Pasar Kelapa Cilegon – Banten.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set alat pirolisis yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini



Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur Penelitian yang akan dilakukan dibagi dalam tiga tahap yaitu :

a. Preparasi bahan baku

Pada proses ini Sabut Kelapa dan kulit durian dibersihkan dahulu dari pengotor dan dikeringkan dengan sinar matahari sampai kandungan airnya $\pm 10\%$, kemudian sabut kelapa dan kulit durian tersebut di masukkan kedalam mesin penghancur (Crusser) dan di screening untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan.

b. Proses Pirolisis

Setelah proses preparasi bahan baku selesai, Kemudian timbang sabut kelapa dan kulit durian sebanyak 175 gr kemudian dimasukkan ke dalam retort yang berdiameter 10,9 cm dan tinggi 19,7 cm. Selanjutnya air pendingin dialirkan dan mulai menghidupkan pemanas. Retort dipanaskan sampai suhu yang di kehendaki kemudian suhu dipertahankan konstan.

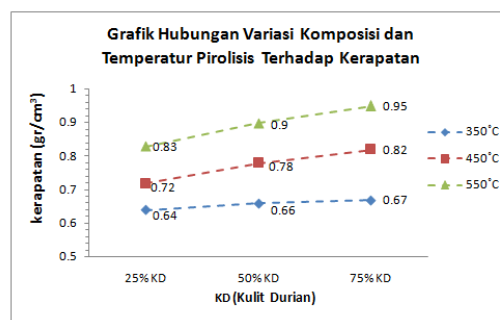
c. Proses pembuatan briket

Setelah proses pirolisis selesai, kemudian proses membuat briket dengan cetakan berbentuk silinder dan menggunakan tekanan yaitu 80 Bar selama 5 menit agar tekanan stabil. Kemudian keringkan dengan memasukan briket kedalam oven selama 1 jam dengan suhu 110 °C. selanjutnya briket siap untuk diuji.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai briket dari campuran sabut kelapa dan kulit durian dilaksanakan di laboratorium konversi energi Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

4.1 Pengaruh Temperatur dan komposisi briket terhadap kerapatan briket



Gambar 2. Grafik hubungan antara komposisi terhadap kerapatan briket

Dari Gambar diatas dapat dilihat bahwa Komposisi kulit durian sangat berpengaruh terhadap kerapatan, dimana semakin banyak komposisi kulit durian maka semakin tinggi kerapatan. Hal ini terjadi karena arang kulit durian memiliki porositas tinggi, berbeda



Seminar Nasional Intergrasi Proses

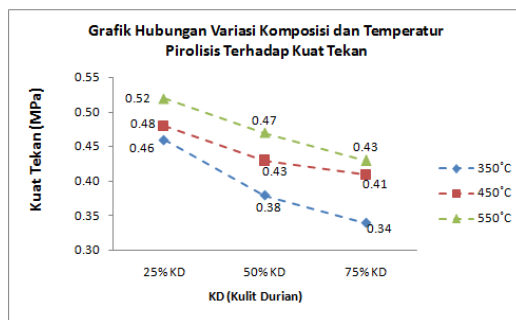
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dengan arang sabut kelapa cenderung halus dan berserat. Sedangkan semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin tinggi kerapatan. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur pirolisis menyebabkan tingginya porositas pada arang, semakin tinggi porositas maka semakin tinggi kerapatan yang dihasilkan pada saat pengemasan.

Untuk kerapatan tertinggi terdapat pada komposisi kulit durian 75% pada temperatur pirolisis 550 °C dengan nilai 0.95 gr/cm³, dan untuk kerapatan terkecil terdapat pada komposisi kulit durian 25% pada temperatur pirolisis 350 °C dengan nilai 0.64 gr/cm³

4.2 Pengaruh Temperatur dan komposisi briket terhadap Kuat tekan



Gambar 3. Grafik hubungan antara komposisi terhadap kuat tekan

Dari gambar diatas terlihat komposisi sabut kelapa sangat berpengaruh terhadap kuat tekan. Dapat ditarik kesimpulan semakin banyak komposisi sabut kelapa maka semakin tinggi kuat tekan.

Dari gambar diatas juga terlihat semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin tinggi kuat tekannya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur pirolisis maka bahan semakin berkesempatan untuk mengurai sehingga porositas arang semakin tinggi. Semakin tinggi porositas semakin tinggi pula pemampatan antar partikel sehingga hubungan antar partikel menjadi teguh.

Untuk kuat tekan tertinggi terdapat pada komposisi kulit durian 25% pada temperatur

pirolisis 550 °C dengan nilai 0.52 MPa, dan untuk kuat tekan terkecil terdapat pada komposisi kulit durian 75% pada temperatur pirolisis 350 °C dengan nilai 0.34 gr/cm³

4.3 Pengaruh Temperatur dan komposisi briket terhadap karakteristik briket

Temperatur pirolisis	Komposisi Kulit Durian	% Moisture	% Ash	% Volatile Matter	% Fixed Carbon	Nilai kalor (cal/gr)
350°C	25%	13,09	8,71	20,76	57,44	5525
	50%	15,85	9,62	18,32	56,31	5492
	75%	13,91	11,97	12,55	61,57	5436
450°C	25%	12,73	8,84	19,59	58,84	5510
	50%	18,24	9,90	17,55	54,31	5325
	75%	14,64	12,83	11,47	61,06	5562
550°C	25%	18,55	8,43	19,02	54	5527
	50%	20,21	11,33	16,59	51,87	5483
	75%	23,63	12,11	11,08	53,19	5572

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa pengaruh temperatur pirolisis maupun komposisi briket akan berpengaruh terhadap karakteristik briket tersebut. Untuk karakteristik Karbon terikat atau *fixed carbon* yaitu fraksi karbon (C) yang terikat di dalam arang selain fraksi air, zat menguap dan abu. Jumlah karbon terikat dan bahan yang mudah menguap secara langsung turut andil terhadap nilai panas briket. Karbon terikat bertindak sebagai pembangkit utama panas pembakaran. Sedangkan kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar (anonim, 2006)

Tabel diatas memperlihatkan bahwa nilai *fixed carbon* dan nilai kalor untuk bahan baku campuran serabut kelapa dan kulit durian mempunyai kadar berbeda-beda, untuk kadar *fixed carbon* terendah diperoleh pada suhu 550°C sebesar 54 % sedangkan kadar *fixed carbon* tertinggi diperoleh pada suhu 350°C sebesar 61.57 %. Untuk nilai kalor terbaik yaitu pada temperature pirolisis 550°C dengan komposisi 75% kulit durian dan 25% sabut kelapa. Sudrajat (1983), menyatakan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

bahwa keberadaan karbon terikat di dalam briket arang dipengaruhi oleh kadar abu dan zat mudah menguap. Kadarnya akan bernilai tinggi apabila kadar abu dan kadar zat mudah menguap briket arang tersebut rendah. Karbon terikat berpengaruh terhadap nilai kalor bakar briket arang. Nilai kalor briket akan tinggi apabila nilai karbon terikatnya tinggi. Semakin tinggi kadar karbon terikat pada arang kayu maka menandakan arang tersebut adalah arang yang baik.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa briket dengan komposisi 75% Kulit durian (KD) dengan temperatur pirolisis 550°C menghasilkan briket dengan nilai kalor tertinggi sebesar 5572 kalori/gr, nilai kerapatan sebesar 0,95 gr/cm³, kuat tekan sebesar 0,46-0,52MPa.

6. DAFTAR PUSTAKA

Awaluddin, A., 2007, "Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio-oil dengan Menggunakan Thermo-oil", Proposal I-MHERE Project. HEI-IU Universitas Riau.

Anonim., 2006, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia.

www.energyefficiencyasia.com. (diakses 13 mei 2011).

- Fakih, Alzero. 2013. "Pengaruh Variasi Komposisi Briket Berbahan Dasar Daun Kering dan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Bakar Alternatif ". Jurusan T. Mesin FT Untirta. Cilegon
- Goyal, H.B., Seal, D., Saxena, R.C., 2006. "Bio-Fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources": A Review. India Institute of S Petroleum. India.
- Ibrahim Darnel, Herman. 2008. "*Mempercepat Implementasi Pengembangan Energi Terbarukan*". Jakarta
- Jein, Hasnul. 2008. "Uji Kehalusan Bahan dan Konsentrasi Perekat Briket Biomassa Kulit Durian Terhadap Karakteristik Mutu Briket". Medan (Universitas Sumatra Utara)
- Riyanto, Sugeng. 2009. "Uji Ketahanan Fisik dan Uji Pembakaran Briket Jerami Padi Dengan dan Tanpa Bahan Pengikat". Jurusan T. Mesin FT Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Sudrajat, 1983, "Pengaruh Bahan Baku Jenis Perekat dan Tekanan Kempa terhadap Kualitas Briket Arang, laporan PPPHH. No. 165; 7-17. Balai Penelitian Hasil Hutan Bogor.



DESULFURISASI BATUBARA BAYAH DENGAN METODE LEACHING MENGGUNAKAN PELARUT KALSIMUM HIPOKLORIT

Fatah Sulaiman^{1*}, Indra Budi Setiawan¹

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNTIRTA BANTEN

UNTIRTA, Jl. Raya Merak Km.3, Cilegon, 42435, Indonesia

*Email: fatah.sulaiman@untirta.ac.id

Abstrak

Batubara adalah salah satu bahan bakar berbasis fosil yang cadangannya sangat melimpah di Indonesia termasuk, di daerah Bayah, Lebak Banten Selatan. Batubara di Indonesia khususnya di daerah Bayah Banten memiliki kandungan sulfur yang cukup tinggi yaitu sekitar 0.89% - 4.19% dengan nilai kalor ± 5312 Kcal / Kg sehingga masih termasuk kategori sub-bituminous ataupun lignite. Sebelum digunakan sebagai bahan bakar, batubara perlu diberikan treatment awal desulfurisasi, sebagai upaya mengurangi emisi SO₂ yang berpotensi mencemari udara saat terjadi proses pembakaran batubara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur, dan konsentrasi pelarut hipoklorit terhadap proses desulfurisasi batubara dengan metode *leaching*. Tahapan penelitian ini meliputi persiapan bahan baku batubara, kedua persiapan pelarut kimia, ketiga persiapan rangkaian alat utama keempat pelaksanaan percobaan utama, dan terakhir adalah analisa hasil percobaan, dimana pada setiap percobaan utama akan diambil sampel untuk dilihat kandungan sulfurnya. Pada variasi temperatur proses *leaching*, di dapat kondisi optimum yaitu larutan Ca(OCl)₂ 0.5 M pada temperatur 60°C dengan kandungan sulfur di dalam batubara sebesar 0.47%, sedangkan larutan Ca(OCl)₂ 0.75 M pada temperatur 70°C diperoleh kandungan sulfur di dalam batubara sebesar 0.1% dan larutan Ca(OCl)₂ 1 M pada temperatur 80°C di peroleh kandungan sulfur di dalam batubara sebesar 0.15%, sedangkan untuk variasi konsentrasi, didapat kondisi optimum yaitu pada temperatur 60°C dengan konsentrasi Ca(OCl)₂ 0.75 M diperoleh kandungan sulfur sebesar 0.11%, pada temperatur 70°C dengan konsentrasi Ca(OCl)₂ 0.75 M diperoleh kandungan sulfur sebesar 0.10% dan pada temperatur 80°C dengan konsentrasi Ca(OCl)₂ 1 M diperoleh kandungan sulfur sebesar 0.15%.

Kata kunci: Desulfurisasi, *leaching*, hipoklori

Abstrac

Coal is a fossil based fuel reserves are abundant in Indonesia , including , in the area bayah , Lebak South of Banten, particularly in the area of Banten bayah have a fairly high sulfur content of around 0.89 % - 4:19 % with calorific value of 5312 \pm Kcal / Kg, so it still belongs to the category of sub - bituminous or lignite . Before being used as fuel , coal desulfurization should be given early treatment , in an effort to reduce emissions of SO₂ that could potentially pollute the air when coal combustion process occurs. This research intend to find out the effect of temperature and consentration of hypochlorite solvent in desulfurization process of coal by leaching method. Indonesian's coals especially in Bayah Banten have high sulfur content around 0.89% - 4.19% with caloric value ± 5312 Kcal / Kg so that it belong to category of sub-bituminous or lignite. This research obtain the best variation with temperature process 70°C and Ca(OCl)₂consentration 0.75 M which contain 0.10% of sulfur.

Keyword: Desulfurization, *leaching*, hypochlorite



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pemakaian batubara hingga saat ini semakin meningkat. Hal itu didukung oleh adanya program pemerintah yang menetapkan batubara sebagai sumber energi alternatif utama. Akan tetapi pemanfaatan batu bara sebagai bahan bakar fosil menimbulkan beberapa masalah ekologi, misalnya permukaan tanah akibat operasi penambangan serta karena terdapatnya sulfur dalam batubara. Pembakaran batubara berkadar sulfur tinggi menghasilkan gas sulfur dioksida yang secara langsung maupun tidak langsung dapat mengganggu kehidupan manusia, seperti menyebabkan sesak pada saluran pernapasan, serta menyebabkan hujan asam dan korosi pada peralatan pabrik (Sasongko, D., 1999). Untuk mengurangi gas SO₂ ini ini dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan sulfur sebelum batubara dibakar (desulfurisasi) atau dengan mengurangi kandungan sulfur setelah batubara dibakar (flue gas desulfurization) (Anonymous, 2006). Metode pemisahan oksida sulfur yang lebih dikenal dengan istilah desulfurisasi ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan metode basah (wet method) dan metode kering (dry method) (Siswati dan Festiani, 2010). Cara pertama disebut metode basah karena menggunakan cairan sebagai media penyerap sulfur. Cara kedua disebut metode kering karena bahan-bahan padat seperti oksida metal dan arang aktif digunakan sebagai pengikat sulfur (Anonimous, 2009). Salah satu metode basah yaitu dengan cara Molten Caustic Leaching (MCL), dimana sulfur yang ada pada batubara akan terlarut oleh reagents kimia. Proses leaching ini menggunakan pelarut kimia yang dapat mengkonversi pirit sulfur kedalam bentuk zat terlarut. Metode MCL ini dapat menghilangkan hampir semua kandungan pirit dan sulfid dari sulfur serta sekitar 90% organik sulfur. Untuk metode leaching ini dapat digunakan larutan asam, larutan hipoklorit, larutan peroksida, larutan klorida, larutan sulfat, larutan basa serta alcohol.

Ehsani (2006) menyebutkan bahwa reduksi pirit sulfur meningkat seiring dengan meningkatnya waktu dan konsentrasi. Pada percobaannya desulfurisasi batubara Tabas dengan media pelarut FeCl₃ 15% dapat menghilangkan kandungan pirit sulfur hingga 71,2% dan 53,4% total kandungan sulfur. Sedangkan untuk media pelarut Fe₂(SO₄)₃ reduksi maksimal yang didapat sekitar 45,8% dengan konsentrasi Fe₂(SO₄)₃ 38%. Ehsani (2006) juga menyebutkan bahwa dengan menggunakan H₂O₂ sebagai media pelarut pada temperature ruang didapatkan reduksi pirit dari 21,94 sampai 30,96% dan penghilangan abu dari 21,42 sampai 45,24%.

Penggunaan asam nitrat sebagai media pelarut pada temperature 40°C dengan konsentrasi 22% didapatkan reduksi pirit sebesar 38. Untuk media pelarut NaOH dilakukan pada temperatur 150-210°C dan didapatkan reduksi tertinggi pirit sebesar 70,8%, sulfur organik 16,67% dan total reduksi sulfur 60,32% (Ehsani, 2006).

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian desulfurisasi batubara dengan berbagai pelarut secara leaching yang telah dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten dilakukan beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan bahan baku batubara, persiapan pelarut kimia, pelaksanaan percobaan dan analisa hasil percobaan.

Pada persiapan bahan baku batubara ini dengan cara menghancurkan batubara pada mesin crusher, setelah itu memisahkan batubara berdasarkan ukuran partikelnya menggunakan ayakan dengan ukuran partikel 200 mesh. Pemisahan batubara dengan ayakan ini dilakukan selama 15 sampai 30 menit. Batubara yang telah diayak, diambil sampelnya untuk dianalisa kandungan apa saja yang terdapat didalamnya, analisa ini dilakukan di Laboratorium Pengujian tekMIRA dengan menggunakan Sulfur Analyzer.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pada persiapan larutan kimia ini dilakukan dengan metode pelarutan. Untuk membuat larutan dengan konsentrasi 1 M, pertama memasukkan Kalsium hipoklorit sebanyak 71.49 gram ke dalam gelas kimia dan menambahkan 500 ml aquadest ke dalam gelas kimia tersebut. Setelah itu mengaduk larutan tersebut hingga homogen dan memasukkannya ke dalam labu ukur untuk dikocok sampai benar-benar homogen. Untuk konsentrasi larutan 0.5 M kalsium hipoklorit yang digunakan sebanyak 35.7425 gram.

Pada percobaan utama pertama memasukkan 20 gram batubara yang telah diayak ke dalam reaktor desulfurisasi, kemudian memasukkan 500 ml pelarut kimia yang telah ditentukan konsentrasinya. Rasio massa batubara terhadap volume pelarut kimia yaitu 2:50. Kemudian mengatur temperatur dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Pelaksanaan proses desulfurisasi selama 2 jam. Setelah proses selesai, batubara kembali dipisahkan dengan cara disaring dengan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 100°C. Untuk analisa batubara sesudah proses desulfurisasi dilakukan di Laboratorium Pengujian tekMIRA dengan mengacu pada standar ASTM D4239.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, peneliti akan membahas hubungan antara variasi temperatur leaching dan variasi konsentrasi pelarut leaching terhadap jumlah penurunan total sulfur yang terdapat dalam batubara. Penelitian ini bertujuan mendapatkan kondisi operasi optimum untuk proses desulfurisasi batubara Bayah Banten dengan pelarut kalsium hipoklorit, sehingga batubara yang digunakan sesuai dengan aturan ambang batas kandungan sulfur di dalam batubara sebesar 0.5 – 0.8%, meskipun nilai kalor batubara Bayah Banten ini rendah yaitu sebesar 3,274 kkal/kg.

Penelitian ini menggunakan variabel tetap yaitu ukuran batubara 200 mesh yang dihancurkan menggunakan alat crushing yang dilakukan di laboratorium Metalurgi, jenis pelarut yang digunakan yaitu kalsium hipoklorit, serta kecepatan pengadukan sebesar 250 rpm dan analisa penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan uji berdasarkan ASTM D.4239 di Laboratorium Pengujian tekMIRA. Berdasarkan hasil analisa didapatkan data kandungan sulfur sebelum proses desulfurisasi dan setelah proses desulfurisasi sebagai berikut.

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

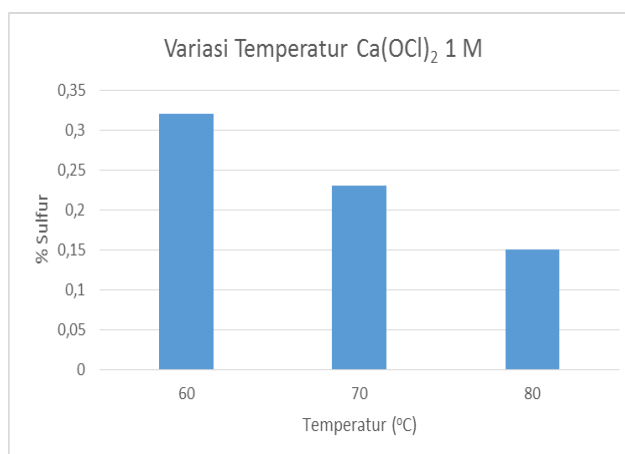
No	No. Lab	Tanda Contoh	Belorang Total (%,adb)
1	1217/14	Sample Awal	1,76
2	1218/14	Ca(OCl) ₂ 0,5 M 60 °C	0,47
3	1219/14	Ca(OCl) ₂ 0,5 M 70 °C	0,63
4	1220/14	Ca(OCl) ₂ 0,5 M 80 °C	0,52
5	1221/14	Ca(OCl) ₂ 1 M 60 °C	0,32
6	1222/14	Ca(OCl) ₂ 1 M 70 °C	0,23
7	1223/14	Ca(OCl) ₂ 1 M 80 °C	0,15
8	1224/14	Ca(OCl) ₂ 0,75 M 60 °C	0,11
9	1225/14	Ca(OCl) ₂ 0,75 M 70 °C	0,10
10	1226/14	Ca(OCl) ₂ 0,75 M 80 °C	0,26
STANDAR ACUAN / STANDARD METHODS :			ASTM D.4239



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 1. Pengaruh variasi temperature

Dari data hasil analisa tersebut dapat dilihat bahwa kandungan sulfur pada batubara Bayah berkurang setelah didesulfurisasi selama 2 jam dengan kandungan sulfur sebelum proses desulfurisasi yaitu 1.76 % dan kandungan sulfur setelah proses desulfurisasi yaitu mencapai 0.10 %. Proses desulfurisasi ini dipengaruhi oleh temperatur proses dan konsentrasi pelarutnya.

Pada penelitian ini diamati temperatur proses leaching terhadap penurunan total sulfur yang dapat terlarut di dalam pelarut leaching. Adapun variasi temperatur yaitu 60°C, 70°C dan 80°C dengan kecepatan pengadukan 250 rpm selama 2 jam. Proses leaching dibatasi 2 jam agar konsumsi energi baik dari pengadukan maupun pemansan tidak terlalu besar. Desulfurisasi Batubara dengan metode leaching merupakan proses perpindahan secara difusi komponen sulfur terutama sulfur pirit dari padatan inert ke dalam pelarutnya, dalam penelitian ini yaitu difusi sulfur pirit dari padatan batubara ke dalam pelarut leachingnya. Temperatur leaching divariasikan agar mendapatkan kondisi operasi yang optimum dalam pengurangan kadar sulfur di dalam batubara. Senyawa sulfur yang terlarut pada pelarut leaching terjadi secara difusi, bila peristiwa pelarutan terus terjadi, maka akan terjadi difusi partikel-partikel solute dari lapisan antar-fasa menembus lapisan permukaan pelarut dan masuk ke dalam badan pelarut

dimana solute didistribusikan merata (Jobsheets, 1991).

Pada percobaan 3 dengan menggunakan pelarut Ca(OCl)_2 1 M pada temperatur 60°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0.32 %, dan filtrat larutan Ca(OCl)_2 1 M pada percobaan 1 menjadi berwarna kuning keruh. Pada percobaan 2 dengan menggunakan larutan Ca(OCl)_2 1 M pada suhu 70°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0.23 %, dan filtrat berwarna kuning keruh. Sedangkan pada percobaan 3 larutan Ca(OCl)_2 1 M pada suhu 80°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0.15% dengan filtrat berwarna kuning keruh. Semakin tinggi temperatur leaching mengakibatkan pori-pori batubara cenderung lebih terbuka sehingga difusi berlangsung lebih cepat karena hambatan difusinya lebih kecil. Semakin tinggi temperatur akan ada kerja pembentukan permukaan sehingga jumlah maksimum pelarut akan masuk ke dalam padatan untuk menarik sulfur pyrite ke luar (pw.atkwin, 1993).

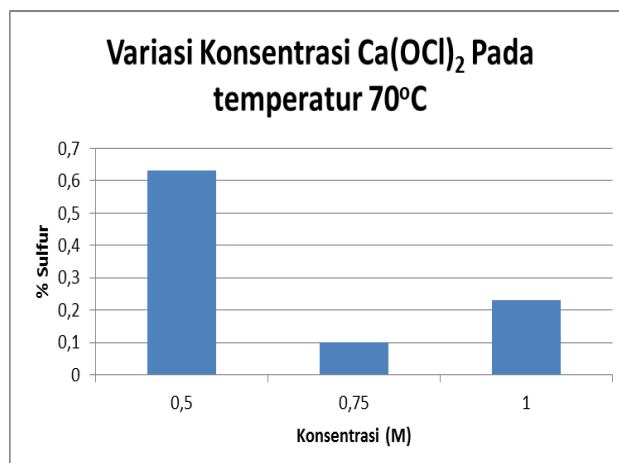
Pada percobaan 1 dengan menggunakan pelarut Ca(OCl)_2 0.5 M pada temperatur 70°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0.63 %, dan filtrat larutan Ca(OCl)_2 0.5 M pada percobaan 1 menjadi berwarna kuning jernih.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 2. Variasi konsentrasi Kalsium Hipoklorit

Pada percobaan 2 dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0,75 M pada suhu 70°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0,10 %, dan filtrat berwarna coklat kemerahan. Sedangkan pada percobaan 3 larutan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 1 M pada suhu 70°C dan kecepatan pengadukan 250 rpm, proses leaching batubara di peroleh total sulfur sebesar 0,23% dengan filtrat berwarna kuning keruh.

Dari tabel 1, sesuai dengan hasil penelitian variasi temperatur di dapat pada temperatur optimum adalah temperatur 80°C . Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur mengakibatkan pori-pori pada batubara lebih terbuka. Pori-pori yang semakin terbuka dapat memperluas permukaan batubara sehingga kontak antara larutan semakin baik, dan difusi antara larutan dengan batubara akan semakin cepat. Proses pelarutan pada temperatur tinggi akan memperkecil viskositas sehingga solvent lebih mudah masuk kedalam pori, hal ini akan mempercepat pelarutan solute dalam solventnya dan semakin banyak solute yang berpindah. Hal ini sangat menguntungkan karena mempercepat pemisahan (Treybal, R.E, 1960). Berdasarkan persamaan Arrhenius, peningkatan temperatur juga akan mempengaruhi nilai konstanta laju reaksi, dan ini akan mempengaruhi laju reaksinya. Semakin tinggi konsentrasi pelarut leaching

mengakibatkan laju reaksi meningkat sesuai dengan persamaan laju reaksi,

$$d\text{Ca}/dt = k.\text{Ca}.\text{Cb} \quad (1)$$

sehingga peningkatan laju reaksi terjadi dikarenakan pada konsentrasi yang tinggi mengandung lebih banyak jumlah ion ClO^- yang merupakan zat pereduksi sulfur pada batubara. Semakin banyak ion ClO^- maka akan semakin banyak sulfur yang tereduksi, sehingga kandungan total sulfur pada batubara akan semakin berkurang. Tetapi apabila konsentrasi yang digunakan terlalu tinggi maka akan menghambat proses desulfurisasi karena pada konsentrasi yang tinggi, jumlah Ca^{2+} juga akan semakin banyak, sehingga memungkinkan terbentuknya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lebih banyak. Dari tabel 1, sesuai dengan hasil penelitian variasi konsentrasi di dapat pada konsentrasi optimum adalah konsentrasi 0,75 M. Hal ini disebabkan konsentrasi yang tidak terlalu tinggi mengakibatkan ion ClO^- yang berdifusi kedalam pori-pori batubara lebih banyak jumlahnya sehingga akan semakin banyak solute yang berpindah, dan ion Ca^{2+} yang membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tidak banyak. Hal ini sangat menguntungkan karena mempercepat pemisahan kandungan sulfur dari batubara.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

berikut: Pada variasi temperatur proses leaching, di dapat kondisi optimum yaitu larutan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0.5 M pada temperatur 60°C dengan kandungan sulfur di dalam batubara 0.47%, sedangkan larutan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0.75 M pada temperatur 70°C diperoleh kandungan sulfur di dalam batubara 0.1% dan larutan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 1 M pada temperatur 80°C di peroleh kandungan sulfur di dalam batubara 0.15%.

Pada variasi konsentrasi, didapat kondisi optimum yaitu pada temperatur 60°C dengan konsentrasi $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0.75 M diperoleh kandungan sulfur 0.11%, pada temperatur 70°C dengan konsentrasi $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0.75 M diperoleh kandungan sulfur 0.10% dan pada temperatur 80°C dengan konsentrasi $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 1 M diperoleh kandungan sulfur 0.15%.

Dari keseluruhan variasi didapatkan variasi terbaik pada penelitian ini yaitu dengan konsentrasi pelarut $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 0.75 M pada temperature 70°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aladin, Andi, 2006. Desulfurisasi Batubara Asal Sulawesi Secara Flotasi Menggunakan Surfaktan Crude Palm Oil (CPO)
- Allen and Shonnard, 2002. Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes, Prentice Hall PTR, United States
- Anonimous, 2009. Desulfurisasi Mencegah Hujan Asam, earlfhamfa.wordpress.com April 2013.
- Demirbas, A. 2002. Electricity from biomass and hydroelectric development projects in Turkey. Energy Explor. Exploit. 20:325-335.
- Fadilah, Rifka, 2009. Penyisihan Pirit dan Pencairan Batubara oleh Thiobacillus ferrooxidans dan Phanerochaete chrysosporium
- Granqvist, Clean Coal Science Handbook, 1995
- Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, New York: John Wiley & Sons INC, 1984
- Putri, Novy Pralisa, 2009, Desulfurisasi Batubara Dengan Senyawa Hipoklorit Secara Leaching, Program Pascasarjana, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Sasongko, D., 1999. Biodepinitisasi batubara menggunakan Thiobacillus Ferrooxidans
- Siswati, Nana Dyah dan Festiani, Aretna, 2010. Desulfurisasi Batubara Menggunakan Udara Dan Air
- W. Li and E.H. Cho, Energy Fuels 19 (2005), pp. 499-507
- www.djmbp.esdm.go.id



PEMURNIAN BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN METODE ADSORPSI

Husni Husin, Fikri Hasfita

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*Email : rudiplcclg@yahoo.com

Abstrak

Produksi hidrogen secara fotokatalitik dekomposisi air dengan menggunakan bahan semikonduktor fotokatalis telah menjadi topik perhatian dewasa ini. Fotokatalis NaTaO_3 telah menunjukkan aktivitas yang tinggi pada fotokatalitik larutan etanol-air menjadi hidrogen di bawah iradiasi sinar ultraviolet. RuO_2 merupakan salah satu kokatalis yang aktif pada reaksi fotokatalitik evolusi hidrogen. Nanopartikel RuO_2 disintesis dengan metode impregnasi (*inception wetness*) pada permukaan kristal NaTaO_3 . Dari hasil analisa menggunakan *high resolution transmission electron microscopy* (HRTEM) menunjukkan bahwa RuO_2 terdispersi cukup baik pada permukaan NaTaO_3 dengan ukuran partikel rata-rata antara 2-5 nm. Keberadaan RuO_2 menyebabkan peningkatan evolusi hidrogen dibandingkan dengan NaTaO_3 tanpa kokatalis. Kombinasi RuO_2 dengan etanol sebagai *sacrificial reagent* juga menunjukkan efek sinergis pada aktivitas produksi hidrogen. Rekombinasi dihambat karena penangkapan *hole* oleh etanol yang bertindak sebagai *sacrificial reagent*, sehingga menyebabkan evolusi hidrogen yang lebih tinggi. Kokatalis RuO_2 dapat membatu proses transfer elektron dari *conduction band* NaTaO_3 ke kluster RuO_2 , sehingga mempermudah pemisahan antara pasangan *electron-hole*. Akhirnya, evolusi hidrogen meningkat pesat mencapai 10,8 kali ketika ditambahkan RuO_2 (0,2 wt.%) sebagai kokatalis dan etanol (10 vol.%) sebagai *sacrificial reagent*. Kokatalis dan *sacrificial reagent* memiliki peranan penting pada reaksi fotokatalitik produksi hidrogen dari air.

Kata kunci: fotokatalis, rutenium oksida, natrium tantalum oksida, hidrogen

Abstract

Significant attention has been paid on the photocatalytic production of hydrogen from water splitting by using semiconductor photocatalyst materials. The NaTaO_3 photocatalyst has been demonstrated for hydrogen production under ultraviolet light irradiation by photocatalytic reforming of ethanol. RuO_2 has been considered as a promising cocatalyst material for photocatalytic hydrogen evolution reaction. The wet inception wetness method has been developed to prepare RuO_2 nanoparticles on the surface NaTaO_3 crystalline. Well dispersed RuO_2 particles are observed by high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) with an average particle size about 2-5 nm are anchored on the surface of the NaTaO_3 after heating in air. The presence of RuO_2 greatly increased the hydrogen evolution compared to pure NaTaO_3 . Combinations of RuO_2 with ethanol as sacrificial reagent also show an evident synergetic effect on the activity. The recombination is interrupted by the effective capture of the holes by ethanol acting as a sacrificial reagent, thereby leading to higher hydrogen evolution. The RuO_2 cocatalyst could promote the photogenerated electrons transferring from NaTaO_3 conduction band to RuO_2 clusters, resulting in the quicker separation of electron-hole pairs. Finally, the evolution of hydrogen production is increased considerably, reaching around 10.8 times, when RuO_2 (0.2 wt.%)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

were added as co-catalyst and ethanol (10 vol.%) as sacrificial reagent. It is proposed that the crucial role of cocatalysts and sacrificial reagent is general for photocatalysis.

Keywords : photocatalyst, ruthenium oxide, sodium tantalum oxide, hydrogen

1. PENDAHULUAN

Pembakaran sumber daya energi konvensional, terutama berasal bahan bakar batu bara dan fosil, mengeluarkan karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah besar menyebabkan pemanasan global. Selain itu, konsumsi sumber bahan bakar ini meningkat dengan pesat sementara cadangannya semakin menurun (Rungjaroentawon, Onsuratoom and Chavadej 2012)(Neef 2009, Husin et al. 2014). Salah satu solusi yang mungkin adalah menggunakan sumber daya energi terbarukan, seperti energi angin, tenaga pasang surut, energi panas bumi, dan energi surya. Banyak upaya telah fokus terutama pada hidrogen sebagai pembawa energi alternatif terbarukan.

Hidrogen diprediksi dapat memenuhi kebutuhan energi masa depan dan telah diakui sebagai sumber energi potensial karena aplikasinya dalam berbagai keperluan dan sifatnya ramah lingkungan tanpa menghasilkan produk yang berbahaya (misalnya CO₂, asap, dan partikulat) ke lingkungan (Jing et al. 2010, Preethi and Kanmani 2013, Guo et al. 2009). Penguraian air secara fotokatalitik merupakan metode yang ideal dalam memproduksi hidrogen menggunakan dua sumber bahan utama terbarukan, yaitu air dan energi matahari. Penggunaan semikonduktor fotokatalis untuk reaksi ini menjadi teknik yang menjanjikan serta memiliki banyak keuntungan yaitu: fasa padat, relatif murah, aman selama operasi, dan tahan terhadap deaktivasi (Jing et al. 2010).

Energi surya mendorong dekomposisi air dengan menggabungkan beberapa fitur menarik untuk pemanfaatan energi. Sumber energi matahari dan media reaktif air tersedia dalam jumlah melimpah dan terbarukan, serta bahan bakar yang dihasilkan yaitu hidrogen

dan buangnya air keduanya aman bagi lingkungan bersih. Sejak Fujishima dan Honda (Fujishima and Honda 1972) membuktikan bahwa air efektif diubah menjadi hidrogen dan listrik pada foto-elektroda semikonduktor TiO₂ tipe-n, perhatian telah tertuju pada fotodekomposisi air dan energi solar sebagai proses konversi energi alternatif, merupakan bahan bakar tanpa polusi.

Semikonduktor fotokatalis telah mendapat banyak perhatian selama beberapa dekade terakhir sebagai solusi yang menjanjikan untuk kedua pembangkit energi dan penyelesaian masalah lingkungan. Energi dan masalah lingkungan di tingkat global adalah topik yang hangat dibicarakan oleh para pakar energi dewasa ini. Hal ini sangat diperlukan untuk membangun sistem energi bersih dalam rangka memecahkan masalah lingkungan. Teknologi ini dianggap menjanjikan, bersih "*green technology*" meregenerasi energi terbarukan, serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Studi ekstensif terus dilakukan dalam upaya eksplorasi semikonduktor fotokatalis yang efisien dalam mereduksi air menjadi hidrogen dan oksigen melalui reaksi yang disebut "*water-splitting*". Semikonduktor oksida logam merupakan salah satu material yang sedang diminati oleh para peneliti di dunia untuk menghasilkan energi hidrogen dari air (Jeong et al. 2006, Ni et al. 2007).

Semikonduktor terdiri dari *valensiband* (VB) juga disebut potensial oksidasi dan *conduction band* (CB), disebut potensial reduksi. Perbedaan energi diantara VB dan CB disebut energi *band gap* (Eg). Semikonduktor menyerap foton (*hν*) dari cahaya ultra violet (UV) atau visibel (Vis) yang memiliki e⁻ dan h⁺. Elektron (e⁻) di VB fotokatalis tereksitasi ke CB membutuhkan energi ≥ energi *band gap* semikonduktor, sementara holes (h⁺) tinggal di VB. Tahap ini disebut dengan semi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

konduktor "photoexcited". Tanpa eksitasi, kedua e^- dan h^+ berada di *valence band*. Elektron dan holes dapat bergabung di *bulk* atau di permukaan semikonduktor dalam waktu yang sangat singkat melepaskan energi dalam bentuk panas (Kudo and Miseki 2009). Jika hal ini terjadi maka tidak akan terjadi reaksi dekomposisi air menjadi hidrogen. Untuk menghindari bergabungnya *electron* dan *hole* biasa ditambahkan *sacrificial reagent* (seperti metanol atau etanol) dalam larutan dan kokatalis (Ni, Pt, Pd) pada permukaan semikonduktor. *Sacrificial reagent* bereaksi dengan *hole* membentuk radikal $\cdot OH$ dan ion H^+ , sementara kokatalis bertindak sebagai *trapping* elektron (Husin et al. 2013).

Sejauh ini penelitian tentang produksi hidrogen dari larutan etanol-air pada semikonduktor $RuO_2/NaTaO_3$ masih jarang dilaporkan. Tulisan ini melaporkan tentang aktifitas fotokatalitik dekomposisi air dan larutan etanol-air menjadi hidrogen pada semikonduktor $RuO_2/NaTaO_3$. Pengaruh *loading* Ru terhadap aktifitas evolusi hidrogen juga diinvestigasi.

2. METODELOGI

2.1 Preparasi katalis $NaTaO_3$

Katalis $NaTaO_3$ disintesis dengan metode sol-gel. NaOH dan $TaCl_5$ dengan perbandingan 1:1 dilarutkan masing-masing dalam air dan etanol. Dalam prosedur persiapan, 1,5 g $TaCl_5$ dilarutkan dalam 100 ml etanol absolut dan kemudian larutan dicampur dengan larutan NaOH sambil diaduk terus. Asam sitrat dengan perbandingan 5:1 (mol/mol dari $TaCl_5$) dilarutkan dalam 50 ml air, selanjutnya dimasukkan ke dalam buret dan di tetes demi tetes secara sangat perlahan ke dalam larutan Na dan Ta di atas sambil diaduk dengan cepat. Setelah semua asam sitrat habis dari buret, pH larutan diatur sesuai keinginan dengan menambahkan larutan NH_3 menggunakan pipet tetes. Larutan tersebut menjadi transparan. Larutan dipanaskan pada suhu 80 °C sambil diaduk sampai terbentuk gel putih. Selanjutnya gel dikeringkan selama 6 jam pada suhu 120 °C dalam oven. Hasil

pemanasan dikeluarkan dari gelas kimia, selanjutnya digerus dengan mortal sampai menjadi serbuk. Serbuk $NaTaO_3$ dimasukkan ke dalam cawan porselin untuk dikalsinasi dalam *tube furnace* dua kali pada suhu 400 °C dilanjutkan pada 800 °C.

2.2 Deposisi RuO_2 pada $NaTaO_3$

$RuO_2/NaTaO_3$ dibuat dengan cara mendeposisi Ru pada katalis $NaTaO_3$. Sebanyak 0,5 % berat Ru dari Rutenium clorida (III) hidrat $RuCl_3 \cdot H_2O$ (Sigma Aldrich) diimpregnasi pada bubuk kristal $NaTaO_3$. Campuran dikeringkan pada 110 °C selama 24 jam, dihaluskan dan akhirnya dikalsinasi pada 300 °C dengan aliran O_2 selama 2 jam. Untuk menentukan komposisi fasa kristal katalis $NaTaO_3$ dilakukan pengukuran X-ray diffraction (XRD) pada temperature ruang menggunakan sebuah alat Rigaku D/MAX-IIIA diffractometer dengan radiasi Cu K- α ($\lambda = 0.15418$ nm). Percepatan voltage of 35 kV dan menggunakan emisi arus pada 30 mA. Bentuk dan ukuran partikel fotokatalis dan ko-katalis ditentukan dengan alat *scanning electron microscopy (SEM)* dan *transmission electron microscopy (TEM)*.

2.3 Aktivitas fotokatalitik $RuO_2/NaTaO_3$

Reaksi fotokatalitik dilangsungkan dalam alat foto-reaktor *pyrex* dengan lampu Hg 500 W. Katalis $RuO_2/NaTaO_3$ sebanyak 0.3 g didispersi ke dalam 350 mL larutan etanol-air mengandung 10% etanol (v/v) sebagai *sacrificial reagent* dan air murni. Reaktor diletakkan secara vertikal dan disinari dengan lampu UV yang letaknya di tengah reaktor. Sebelum reaksi dilaksanakan gas argon dialirkan ke dalam reaktor untuk evakuasi gas O_2 yang masuk sebelum *set up* alat ditutup. Larutan terus diaduk selama reaksi berlangsung menggunakan *magnetic stirrer* untuk menjaga partikel fotokatalis dalam keadaan tersuspensi. Produksi gas hidrogen selama percobaan dialirkan ke dalam kolektor gas untuk ditentukan volume tiap jam. Selanjutnya H_2 dari kolektor gas dianalisis menggunakan *gas chromatography* Shimadzu 8A, (kolom *mole sieve* 5A) menggunakan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

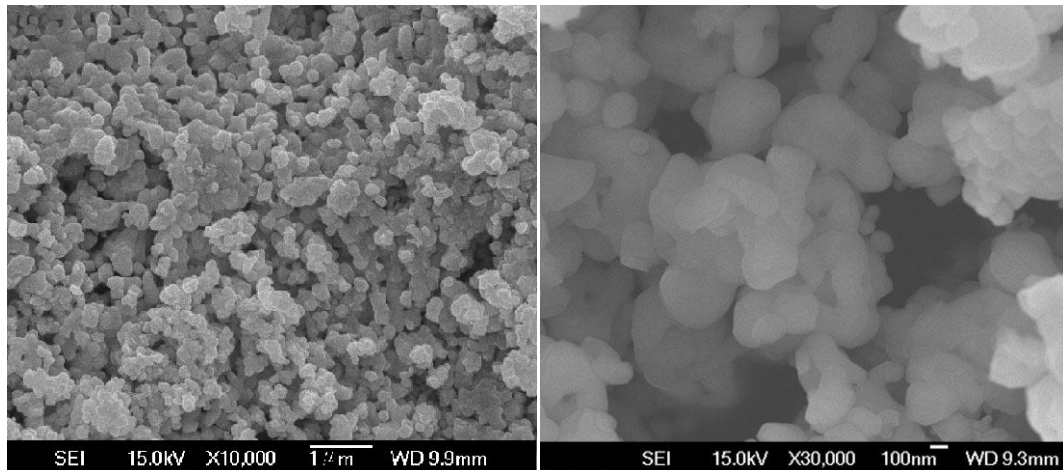
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

thermal conductivity detector dan gas carrier Ar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan mikrograf *scanning electron microscopy* (SEM) semi

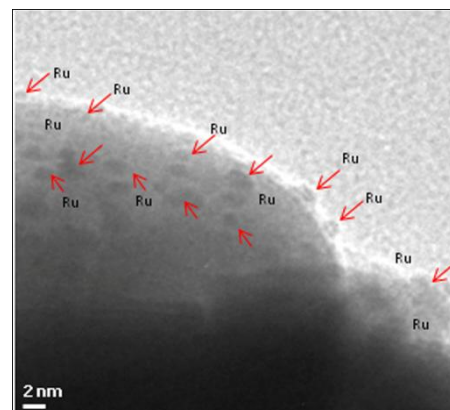
konduktor NaTaO_3 . Partikel NaTaO_3 berbentuk *orthorhombic* dan menampilkan permukaan yang mulus. Fakta ini mengilustrasikan bahwa sampel NaTaO_3 memiliki kristalinitas yang tinggi. Ukuran partikel NaTaO_3 berkisar antara 80-250 nm.



Gambar 1. Rekaman *scanning electron microscopy* (SEM) (a) $\text{RuO}_2/\text{NaTaO}_3$, dan (b) pembesaran 30.000 kali

Aktivitas fotokatalitik dekomposisi air menjadi hidrogen merupakan fungsi beberapa variabel antara lain: ukuran partikel, kristalinitas, dan morfologi dari semikonduktor (Matsuoka et al. 2007, Kudo and Kato 2000). Jika semi konduktor memiliki partikel dalam ukuran kecil serta kristalinitas tinggi akan memperpendek rute perpindahan elektron dari *bulk* sampel ke permukaan sehingga dapat mengurangi rekombinasi antara *photogenerated carriers hole* dan *electron* (Husin 2012).

Tidak tampak partikel RuO_2 pada permukaan NaTaO_3 setelah diimpregnasi prekursor RuO_2 dari rekaman SEM. Hal ini diduga karena ukuran partikel rutenium sangat kecil dan loading pada NaTaO_3 hanya antara 0.1- 0,5% berat. Oleh karena itu, keberadaan rutenium pada permukaan sampel diinvestigasi dengan *transmission electron microscopy* (TEM).



Gambar 2. Gambar *transmission electron microscopy* (TEM) RuO_2 pada permukaan semikonduktor NaTaO_3 .

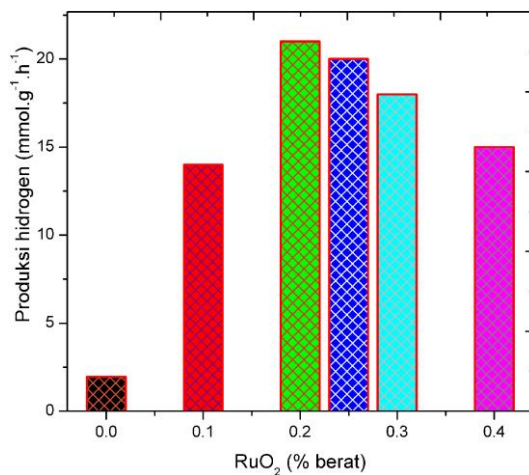
Gambar 2 menampilkan *transmission electron microscopy* (TEM) $\text{RuO}_2/\text{NaTaO}_3$. Tampak RuO_2 terdispersi dengan baik pada permukaan NaTaO_3 . Ukuran nanopartikel RuO_2 rata-rata antara 2-5 nm. Keberadaan rutenium pada permukaan NaTaO_3 diharapkan dapat meningkatkan evolusi hidrogen dari air.



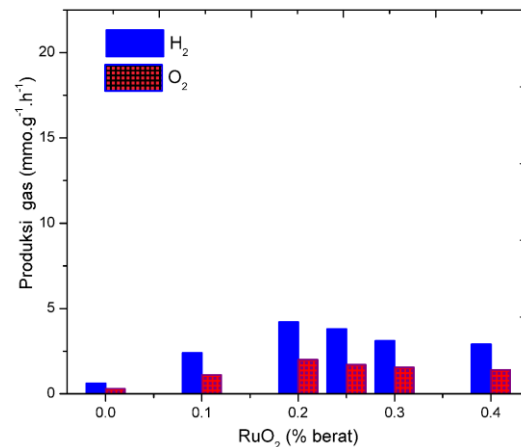
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 3. Hubungan loading RuO₂ terhadap produksi hidrogen dari larutan etano-air (10%v. etanol)



Gambar 4. Hubungan loading RuO₂ terhadap produksi gas hidrogen dan oksigen dari air murni

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang kinerja sampel semikonduktor fotokatalis, reaksi fotokatalitik air murni dan larutan etanol air telah dilangsungkan dalam reaktor gelas. Pengaruh RuO₂ terhadap evolusi hidrogen dari larutan etanol air dan air murni disajikan pada Gambar 3 dan 4. Aktivitas fotokatalitik sampel RuO₂/NaTaO₃ meningkat secara signifikan (hingga 8 kali lebih tinggi) dengan adanya rutenium dalam jumlah kecil (0,2% berat), yang terdistribusi merata pada permukaan fotokatalis NaTaO₃. Akan tetapi, aktivitas fotokatalitik ketika menggunakan air murni menampilkan produksi hidrogen yang rendah, seperti didemonstrasikan pada Gambar 4. Kejadian ini dikarenakan laju rekombinasi muatan *electron-hole* sukar dihindari pada reaksi fotokatalitik menggunakan air murni, keadaan ini berkontribusi pada rendahnya fotoaktivitas evolusi hidrogen.

Didasarkan pada kinerja fotokatalitik dari larutan etanol-air dan air murni dapat disimpulkan mekanisme pembentukan hidrogen yang berlangsung pada fotokatalis RuO₂/NaTaO₃. Larutan etanol-air atau air murni pada fotokatalis RuO₂/NaTaO₃ berlangsung dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah penyerapan sinar oleh semikonduktor menghasilkan muatan e⁻ (*electron*) dan h⁺ (*hole*). Selanjutnya reaksi oksidasi etanol dan air dengan h⁺ terjadi pada

valence band NaTaO₃ menghasilkan •OH dan ion H⁺. Radikal •OH bereaksi dengan h⁺ merilis ion H⁺ dan CO₂/O₂. Elektron pada *valence band* NaTaO₃ dapat dieksitasi ke *conduction band* NaTaO₃, kemudian ditransfer ke RuO₂. Ion H⁺ tereduksi oleh elektron pada *conduction band* menghasilkan gas hidrogen. Dari hasil penelitian ini diasumsi bahwa rekombinasi antara pasangan *electron-hole* dapat dikurangi karena peran RuO₂ yang bertindak sebagai *electron-trap* dan juga derajat kristalinitas dari semikonduktor NaTaO₃ yang tinggi. Pekerjaan yang hampir sama dari literatur sebelumnya (Martínez et al. 2010) juga melaporkan bahwa reaksi dekomposisi air menjadi hidrogen pada nanopartikel RuO₂ karena perannya sebagai *electron-trapping* salah satu penghambat rekombinasi *electron-hole*. Kombinasi RuO₂ dengan etanol sebagai *sacrificialreagent* juga menunjukkan efek sinergis pada aktivitas produksi hidrogen.

4. KESIMPULAN

Produksi hidrogen dari air dan larutan etanol-air pada semikonduktor fotokatalis RuO₂/NaTaO₃ telah dilakukan. Prekursor rutenium dideposisi pada permukaan NaTaO₃ dengan metode impregnasi. Ukuran partikel RuO₂ berkisar antara 2-5 nm yang direkam dengan alat *transmission electron microscopy* (TEM). Aktivitas evolusi hidrogen meningkat



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

pesat ketika dideposisi RuO_2 pada permukaan NaTaO_3 . Demikian juga kombinasi RuO_2 dengan etanol sebagai *sacrificialreagent* juga menunjukkan efek sinergis pada aktivitas produksi hidrogen. Rekombinasi dapat dihambat karena reaksi h^+ dengan etanol yang bertindak sebagai *sacrificialreagent*, sehingga menghasilkan H^+ yang lebih banyak. Fungsi ko-katalis RuO_2 dapat mempercepat transfer elektron dari *conduction band* NaTaO_3 ke kluster RuO_2 . Evolusi hidrogen meningkat pesat mencapai 10,8 kali ketika ditambahkan RuO_2 (0,2 wt.%) dan etanol (10 vol.%) sebagai *sacrificialreagent*. Kokatalis dan *sacrificial reagent* memiliki peranan penting pada reaksi fotokatalitik produksi hidrogen dari air.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas bantuan financial melalui riset INSEnas RD-2014-0515 tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Fujishima, A. & K. Honda (1972) Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature* 238, 37.
- Guo, L. J., L. Zhao, D. W. Jing, Y. J. Lu, H. H. Yang, B. F. Bai, X. M. Zhang, L. J. Ma & X. M. Wu (2009) Solar hydrogen production and its development in China. *Energy*, 34, 1073-1090.
- Husin, H. (2012) Produksi Hidrogen Secara Fotokatalitik dari Air Murni Pada Katalis NaTaO_3 . *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9, 53-58.
- Husin, H., M. Mahidin, Z. Zuhra & F. Hafita (2014) H_2 evolution on Lanthanum and Carbon co-doped NaTaO_3 Photocatalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 9, 81-86.
- Husin, H., W. N. Su, C. J. Pan, J. Y. Liu, J. Rick, S. C. Yang, W. T. Chuang, H. S. Sheu & B. J. Hwang (2013) Pd/NiO core/shell nanoparticles on $\text{La}_{0.02}\text{Na}_{0.98}\text{TaO}_3$ catalyst for hydrogen evolution from water and aqueous methanol solution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 13529-13540.
- Jeong, H., T. Kim, D. Kim & K. Kim (2006) Hydrogen production by the photocatalytic overall water splitting on $\text{NiO}/\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$: Effect of preparation method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 1142-1146.
- Jing, D., L. Guo, L. Zhao, X. Zhang, H. Liu, M. Li, S. Shen, G. Liu, X. Hu, X. Zhang, K. Zhang, L. Ma & P. Guo (2010) Efficient solar hydrogen production by photocatalytic water splitting: From fundamental study to pilot demonstration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 7087-7097.
- Kudo, A. & H. Kato (2000) Effect of lanthanide-doping into NaTaO_3 photocatalysts for efficient water splitting. *Chemical Physics Letters*, 331, 373-377.
- Kudo, A. & Y. Miseki (2009) Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. *Chemical Society Reviews*, 38, 253-278.
- Martínez, L. M. T., R. Gómez, O. V. Cuchillo, I. Juárez-Ramírez, A. C. López & F. J. A. Sandoval (2010) Enhanced photocatalytic water splitting hydrogen production on $\text{RuO}_2/\text{La}:\text{NaTaO}_3$ prepared by sol-gel method. *Catalysis Communications*, 12, 268-272.
- Matsuoka, M., M. Kitano, M. Takeuchi, K. Tsujimaru, M. Anpo & J. M. Thomas (2007) Photocatalysis for new energy production: Recent advances in photocatalytic water splitting reactions for hydrogen production. *Catalysis Today*, 122, 51-61.
- Neef, H. J. (2009) International overview of hydrogen and fuel cell research. *Energy*, 34, 327-333.
- Ni, M., M. K. H. Leung, D. Y. C. Leung & K. Sumathy (2007) A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO_2 for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 401-425.

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

Preethi, V. & S. Kanmani (2013)
Photocatalytic hydrogen production.
*Materials Science in Semiconductor
Processing*, 16, 561-575.

Rungjaroentawon, N., S. Onsuratoom & S.
Chavadej (2012) Hydrogen production

from water splitting under visible light
irradiation using sensitized mesoporous-
assembled TiO₂-SiO₂ mixed oxide
photocatalysts. *Int Journal of Hydrogen
Energy*, 37, 11061-11071.

BIDANG II
PROSES INDUSTRI KIMIA



PENENTUAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL TEPUNG TERIGU DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGAPUNGAN BATANG (BUOYANCY WEIGHING-BAR METHOD)

Rondang Tambun^{1*}, Nofriko Pratama, Ely, Farida Hanum

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

*Email : rondang_tambun@yahoo.com / rondang@usu.ac.id

Abstrak

Penentuan distribusi ukuran partikel tepung terigu merupakan salah satu yang penting dalam industri pengolahan tepung terigu. Selama ini, berbagai cara dapat dilakukan untuk menentukan ukuran partikel tepung terigu seperti metode *Andreasen Pipette*, *Sedimentation Balance*, *Centrifugal Sedimentation*, *Laser Diffraction/ Scattering*, *Microscopy*, *Coulter Counter* dan lain sebagainya. Metode-metode tersebut di atas mempunyai kelebihan dan kekurangan, terutama masalah kekurang praktisan, waktu ataupun masalah biaya. Metode *Andreasen Pipette*, *Sedimentation Balance* dan *Centrifugal Sedimentation* merupakan metode yang murah tetapi butuh waktu yang lama dan keahlian untuk mengoperasikannya. Sebaliknya, metode *Laser Diffraction/Scattering*, *Microscopy* dan *Coulter Counter* merupakan metode yang sangat akurat dan cepat, tetapi memerlukan biaya yang sangat mahal. Pada penelitian ini, dikembangkan suatu metode terbaru yaitu Metode Pengapungan Batang (*Buoyancy Weighing-Bar Method*) untuk menentukan distribusi ukuran partikel tepung terigu. Metode ini mengukur distribusi ukuran partikel dengan menggunakan sebuah batang logam yang digantungkan pada cairan yang berisi butiran partikel tepung yang terdispersi pada cairan tersebut. Pada metode ini, perubahan densitas larutan yang terjadi karena perpindahan partikel tepung dalam suspensi (etanol) diukur berdasarkan perubahan massa batang logam yang digantung di dalam suspensi. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa hasil yang diperoleh menggunakan Metode Pengapungan Batang sebanding dengan hasil yang diperoleh dengan Metode *Sedimentation Balance*.

Kata kunci : pengapungan batang, distribusi ukuran partikel, tepung terigu, *buoyancy*, etanol

Abstract

Particle size measurement of wheat flour is important in wheat flour industry. There are several methods have been used to measure particle size distribution (PSD) of wheat flour, such as Andreasen pipette method, sedimentation balance method, centrifugal sedimentation method. The disadvantages of these methods are that they are time consuming and require special skills. On the other hand, PSD can be analyzed using a different principle through laser diffraction/scattering methods, and coulter counter method. The laser diffraction/scattering and coulter counter methods produce highly accurate results within a shorter time, but the equipment is extremely expensive. Therefore, a simple and cost-effective new method to determine PSD is in high demand. In this study, we aim to develop a new method to measure the particle size distribution of wheat flour using a buoyancy weighing-bar method. In this method, the density change in a suspension due to particle migration (wheat flour) is measured by weighing buoyancy against a weighing-bar hung in the suspension (etanol/metanol), and the PSD is calculated using the length of the bar and the time-course change in the mass of the bar. This apparatus consists of an analytical balance with a hook for underfloor weighing, and a weighing-bar, which is used to detect the density change in suspension. The result obtained show that the PSD of wheat flour measured by the buoyancy weighing-bar method is comparable to that determined by settling balance method



Keywords : buoyancy, particle size distribution, weighing bar, wheat flour

1. PENDAHULUAN

Penentuan distribusi ukuran partikel tepung terigu merupakan salah satu metode yang penting dalam teknologi partikel dalam industri tepung terigu. Selama ini, berbagai cara sudah dilakukan untuk menentukan ukuran partikel [Allen, 1990]. Untuk sistem padat-cair, distribusi ukuran partikel diukur menggunakan diameter Stokes dengan mengukur kecepatan perpindahan partikel dalam larutan. Metode-metode yang menggunakan cara ini antara lain adalah Metode *Andreasen Pipette* [Society of Eng. Jpn, 1988], Metode *Sedimentation Balance* [Fukui dkk, 2000], Metode *Centrifugal Sedimentation* [Arakawa dkk, 1984], dan lain-lain. Metode-metode ini sangat murah dalam pengoperasiannya, tetapi membutuhkan waktu yang agak lama dan kurang praktis dalam penggunaannya. Pada sisi yang lain, berbagai metode dengan sistem berbeda juga telah ditemukan seperti Metode *Laser Diffraction/Scattering* [Minoshima dkk, 2005], *Microscopy* [Kuriyama dkk, 2000] dan Metode *Coulter Counter* [Ohira dkk, 2004]. Pengoperasian metode-metode ini sangat praktis sekali dan hasil yang diperoleh sangat akurat dalam tempo yang singkat, tetapi harga peralatan yang dipakai sangat mahal.

Untuk mengatasi masalah ini, sebuah metode yang sederhana, praktis dan murah sangat diperlukan. Metode terbaru yang sedang dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut *Buoyancy Weighing-Bar Method* (BWM). Metode ini telah terbukti dapat menentukan distribusi ukuran partikel pada *Stokes region* maupun pada *Allen region* untuk berbagai partikel seperti *alumina*, *glass beads*, *silica sands*, *nylon beads*, *magnesite*, *calcium carbonate*, *glass bubbles*, dan lain-lain. Metode ini pertama sekali dikembangkan oleh Obata, dkk. Mereka mengukur distribusi ukuran partikel dengan menggunakan sebuah batang logam yang digantungkan pada cairan yang berisi butiran partikel yang terdispersi pada cairan tersebut. Cara inilah yang disebut dengan *Buoyancy Weighing-Bar Method* (Metode

Pengapungan Batang). Pada metode ini, perubahan densitas larutan yang terjadi karena perpindahan partikel diukur dari perubahan massa batang yang digantung di dalam suspensi [Obata dkk, 2009; Tambun dkk, 2010; Tambun dkk, 2011; Tambun dkk, 2012a, 2012b].

Pada industri tepung terigu, penentuan distribusi ukuran partikel biasanya dilakukan menggunakan metode *sedimentation balance*, *laser diffraction/scattering* ataupun metode *Coulter counter*. Metode *sedimentation balance* tergolong metode yang memerlukan waktu yang lama dalam pengoperasiannya, sementara metode *laser diffraction/scattering* dan metode *Coulter counter* tergolong metode yang sangat mahal, sehingga untuk mengatasi masalah ini dikaji pemakaian Metode Pengapungan Batang.

2. TEORI

2.1. Prinsip Metode Pengapungan Batang (BWM)

Pada dasarnya distribusi ukuran partikel yang diukur dengan Metode Pengapungan Batang sama dengan yang dipakai pada metode manometrik dan metode *Oden Balance* [Odén, 1925]. Secara grafik, kurva massa terhadap waktu pengendapan pada Metode Pengapungan Batang ini analog dengan kurva *pressure drop* terhadap *superficial velocity* pada fluidisasi [Obata dkk, 1982; Obata dan Watanabe, 1986; Obata dan Ando, 1993]. Gambar 2.1 adalah plot *pressure drop* ΔP terhadap *superficial velocity*, yang menggambarkan perhitungan distribusi ukuran partikel secara grafik pada fluidisasi.

Jika *superficial velocity* adalah u_3 , maka :

$$\Delta P = \left[\frac{(\rho_p - \rho) M_0 g}{\rho_p A} \right] \left[\frac{D(x)}{100} \right] + u \frac{d\Delta P}{du} \equiv 0Y \quad (1)$$

$$\left[\frac{(\rho_p - \rho) M_0 g}{\rho_p A} \right] \left[\frac{D(x)}{100} \right] \equiv 0X, u \frac{d\Delta P}{du} \equiv XY \quad (2)$$

dengan M_0 , A , dan $D(x)$ adalah total massa partikel, *cross-sectional area* dari unggun, dan persentasi massa kumulatif dari partikel x .

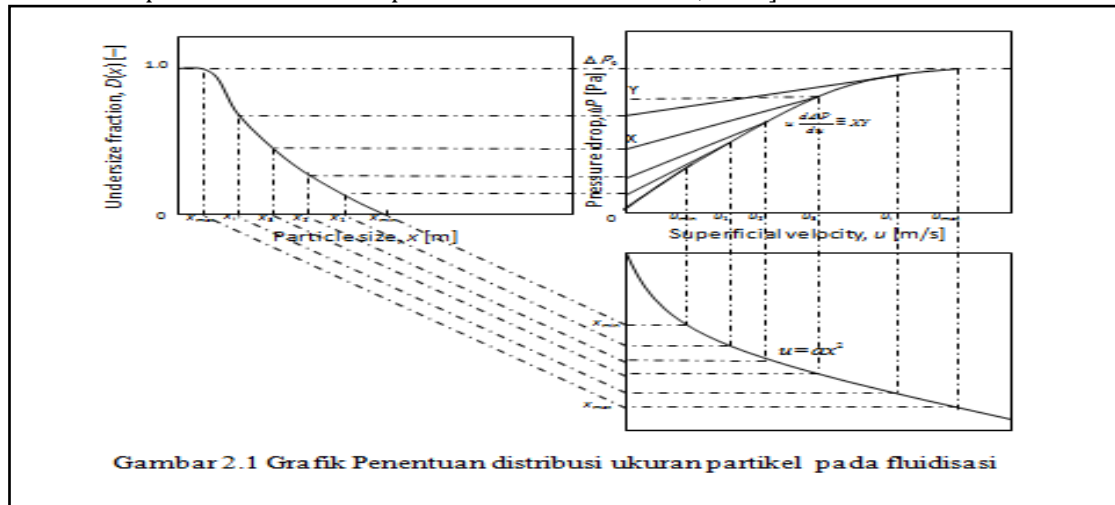
Gambar 2.2 mengilustrasikan skematik diagram dari pengendapan partikel. Volume batang dalam suspensi adalah $V_B = Ah$, dengan A adalah luas permukaan dari batang pemberat dan h adalah panjang batang yang dicelupkan pada suspensi. Densitas dari pelarut (cairan) dilambangkan dengan ρ_L , sedangkan densitas



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

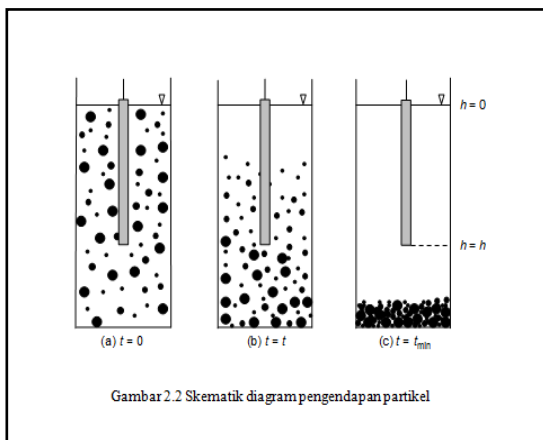
partikel dilambangkan dengan ρ_p . konsentrasi mula-mula padatan dalam suspensi adalah Co (kg-padatan/m³-suspensi) [Obata dkk, 2009; Motoi dkk, 2010].



Gambar 2.1 Grafik Penentuan distribusi ukuran partikel pada fluidisasi

Gambar 2.2 (a) menunjukkan bahwa massa batang mula-mula yang mengapung pada kondisi awal tergantung pada partikel yang berada antara bagian atas batang dan bagian bawah batang dalam suspensi. Pada waktu pengendapan $t = 0$, densitas mula-mula dari suspensi (ρ_{S0}) adalah:

$$\rho_{S0} = \rho_L + \frac{C_0}{\rho_p} (\rho_p - \rho_L) \quad (3)$$



Gambar 2.2 Skematik diagram pengendapan partikel

Karena massa batang mula-mula yang mengapung W_{B0} tergantung pada partikel pada suspensi dari permukaan sampai kedalaman h , W_{B0} dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$W_{B0} = V_B \rho_{S0} \quad (4)$$

Pada kondisi mula-mula, massa batang dalam suspensi adalah

$$G_{B0} = V_B \rho_B - W_{B0} = V_B (\rho_B - \rho_{S0}) \quad (5)$$

dimana, ρ_B adalah densitas dari batang. Gambar 2.2(b) menunjukkan konsentrasi suspensi (C) semakin menurun dari waktu ke waktu, karena

partikel yang besar sudah mengendap. Densitas suspensi ρ_{St} , massa pengapungan batang W_{Bt} , dan massa nyata dari batang G_{Bt} di dalam suspensi pada $t = t$ diberikan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\rho_{St} = \rho_L + \frac{(\rho_p - \rho_L)}{\rho_p} C \quad (6)$$

$$W_{Bt} = V_B \cdot \rho_{St} \quad (7)$$

$$G_{Bt} = V_B \cdot \rho_B - W_{Bt} = V_B \cdot \rho_B - V_B \cdot \rho_{St} = V_B (\rho_B - \rho_{St}) \quad (8)$$

Gambar 2.2(c), pada $t = \infty$, konsentrasi suspensi adalah 0, karena semua partikel, baik besar maupun kecil sudah mengendap. Densitas suspensi $\rho_{S\infty}$, massa pengapungan batang $W_{B\infty}$, dan massa nyata dari batang $G_{B\infty}$ di dalam suspensi pada $t = \infty$ diberikan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\rho_{S\infty} = \rho_L \quad (9)$$

$$W_{B\infty} = V_B \cdot \rho_L \quad (10)$$

$$G_{B\infty} = V_B \cdot \rho_B - W_{B\infty} = V_B (\rho_B - \rho_L) \quad (11)$$

Persamaan 12 menunjukkan neraca massa partikel dalam suspensi [Allen, 1990].

$$C_0 - C = C_0 \int_{x_i}^{x_{max}} f(x) dx + C_0 \int_{x_{min}}^{x_i} \frac{v(x)t}{h} f(x) dx \quad (12)$$

Dari persamaan 4, 7, 10 dan 12, diperoleh:

$$W_0 - W = (W_0 - W_{\infty}) \int_{x_i}^{x_{max}} f(x) dx + (W_0 - W_{\infty}) \int_{x_{min}}^{x_i} \frac{v(x)t}{h} f(x) dx \quad (13)$$

dimana $v(x)$ adalah kecepatan pengendapan, $f(x)$ adalah frekuensi massa partikel berukuran



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

x. Diferensial persamaan 13 terhadap waktu t , maka akan diperoleh :

$$-\frac{dW}{dt} = (W_0 - W_\infty) \int_{x_{min}}^{x_i} \frac{v(x)}{h} f(x) dx \quad (14)$$

Dari persamaan 13 dan 14,

$$W_{Bt} = W_{Rf} + \left(\frac{dW_{Bt}}{dt}\right) t \quad (15)$$

Dimana W_{Rt} adalah massa partikel yang lebih besar dari partikel berukuran

$$W_0 - (W_0 - W_\infty) \int_{x_i}^{x_{max}} f(x) dx \quad (16)$$

Kombinasi persamaan 8 dan 15 akan menghasilkan :

$$G_{Bt} = V_B \cdot \rho_B - W_{Rt} + \left(\frac{dG_{Bt}}{dt}\right) t = G_{Rt} + \left(\frac{dG_{Bt}}{dt}\right) t \quad (17)$$

Dimana, $G_{Rt} = V_B \cdot \rho_B - W_{Rt}$ dan $\frac{dG_{Bt}}{dt} = -\frac{dW_{Bt}}{dt}$ karena penurunan massa batang sesuai dengan penurunan massa pengapungan batang. Nilai G_{Rt} dihitung dari slope persamaan 2.15. Hubungan kumulatif massa *oversize*, $R(x)$ dan kumulatif massa *undersize*, $D(x)$ adalah,

$$R(x) = \int_{x_i}^{x_{max}} f(x) dx = \frac{G_{Rt} - G_{B0}}{G_{B0} - G_{B0}} = 1 - D(x) \quad (18)$$

Ukuran partikel x diekspresikan dengan menggunakan persamaan Stokes:

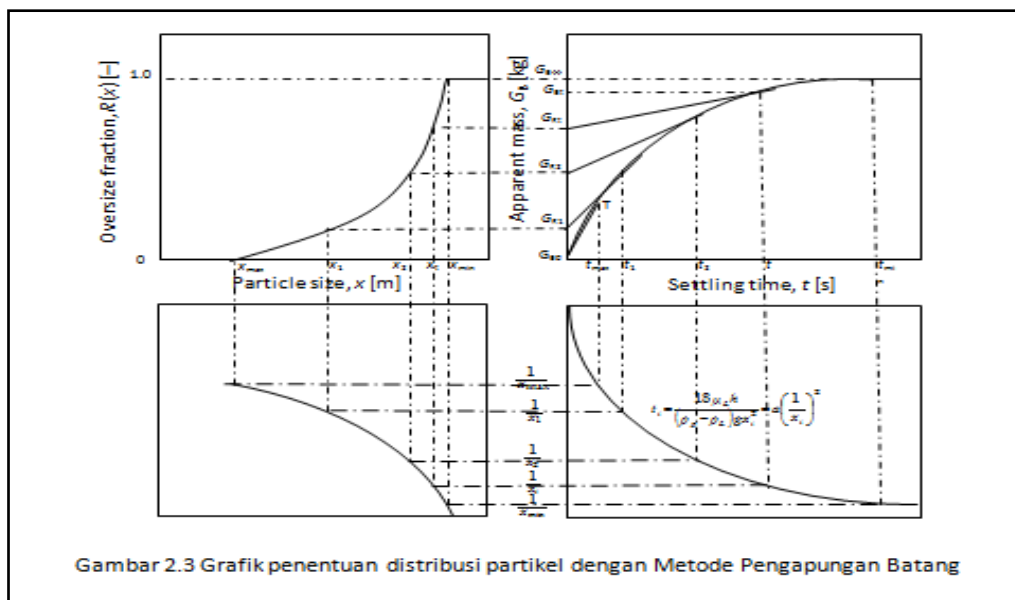
$$x = \sqrt{\frac{18\mu_L v(x)}{g(\rho_p - \rho_L)}} \quad (19)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi dan μ_L adalah viskositas larutan. Kecepatan pengendapan $v(x)$ partikel dihitung sesuai dengan persamaan 20.

$$v(x) = \frac{h}{t} \quad (20)$$

Dimana h adalah panjang batang yang terapung di dalam cairan dan t adalah waktu pengendapan. Ukuran partikel x yang dihasilkan pada persamaan 19 merupakan diameter Stokes. Hal ini membuktikan bahwa teori pada Metode Pengapungan Batang ini mirip dengan metode sedimentation balance [Odén, 1925].

Gambar 2.3 mengilustrasikan metode perhitungan distribusi ukuran partikel yang mengendap dengan menggunakan Metode Pengapungan Batang. Gambar kanan atas menunjukkan perubahan massa batang sebagai fungsi waktu, sementara gambar kanan bawah menunjukkan hubungan waktu dengan kebalikan ukuran partikel. Dari persamaan 19 dan 20, waktu sebanding dengan kuadrat kebalikan dari ukuran partikel. Jadi dalam metode ini, ukuran partikel x dapat dihitung pada setiap waktu t , sementara G_{Rt} secara simultan dapat dihitung dari slope, sesuai dengan persamaan 17. Kumulatif massa *undersize*, $D(x)$ dapat dihitung dengan persamaan 18. Pada gambar kiri atas, distribusi ukuran partikel diperoleh dari perhitungan ukuran partikel x dan $D(x)$ [Obata dkk, 2009; Tambun dkk, 2010].



Gambar 2.3 Grafik penentuan distribusi partikel dengan Metode Pengapungan Batang

3. METODOLOGI

Pada penelitian ini, kami melakukan serangkaian percobaan penentuan distribusi

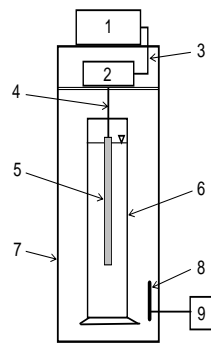
ukuran partikel dengan Metode Pengapungan Batang. Material sampel yang diteliti adalah tepung terigu (Cap Segi Tiga Biru). Etanol dan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

metanol digunakan sebagai fase cairan. Air tidak dianjurkan digunakan pada penelitian ini karena tepung terigu tidak akan terpisah dengan baik di dalam air. Konsentrasi suspensi adalah $10 \text{ kg/m}^3 (\pm 1 \text{ wt.}\%)$ [Ohira dkk, 2010]. Suhu ruangan dan suhu cairan adalah 298 K (suhu kamar). Semua suspensi akan diaduk sebelum dilakukan pengukuran. Lama pengukuran adalah 2 jam. Pada penelitian ini, distribusi ukuran partikel diukur berdasarkan hukum Stokes. Sebagai pembanding dari hasil penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *sedimentation/settling balance*. Ilustrasi rangkaian peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



1. Personal computer 2. Analytical balance 3. RS-232C cable 4. Hanging wire
5. Weighing bar 6. Measuring glass cylinder 7. Thermal insulation vessel
8. Heating panel 9. Controller

Gambar 3.1 Skematik dari peralatan eksperimen

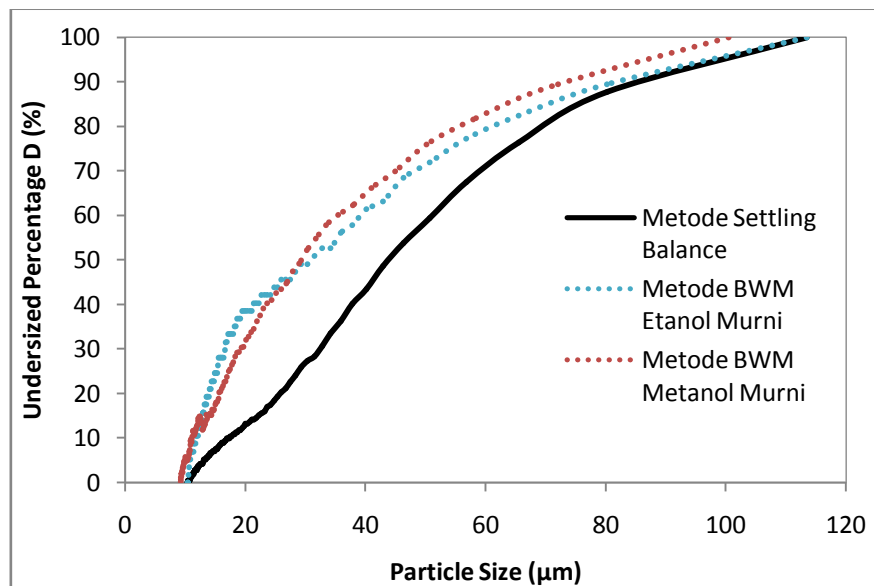
Batang yang digunakan terbuat dari aluminium dengan diameter 10 mm dan panjang 200 mm, densitas : $2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Neraca analitik (4 desimal) mempunyai pengait di bagian bawahnya untuk menggantung batang aluminium. Data akan direkam setiap interval 60 detik.

Untuk menyiapkan suspensi, 1000 ml cairan dan partikel dicampur dalam gelas ukur. Dengan menggunakan tali/benang yang sangat ringan, batang digantung dari bawah neraca analitik. Setelah diaduk dengan pengaduk khusus, batang dimasukkan ke dalam suspensi, dan dicatat sebagai $t = 0$ detik. Hal ini berlangsung selama 2 jam. Setelah pengukuran selesai, distribusi ukuran partikel diukur berdasarkan teori di atas.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Pengukuran dengan Menggunakan Pelarut Murni (p.a)

Gambar 3.2 memberikan gambaran bahwa penggunaan etanol murni lebih baik daripada metanol murni. Sebelum percobaan, tepung terigu diayak menggunakan ayakan 140 mesh ($125 \mu\text{m}$). Pada penelitian yang dilakukan, metode *settling balance* menghasilkan distribusi ukuran partikel tepung terigu dalam rentang sekitar $10 - 113 \mu\text{m}$. Hasil ini menunjukkan bahwa rentang pengukuran sebanding dengan yang dihasilkan Metode Pengapungan Batang (BWM).



Gambar 3.2 Distribusi Ukuran Partikel Tepung Terigu Menggunakan Pelarut Murni



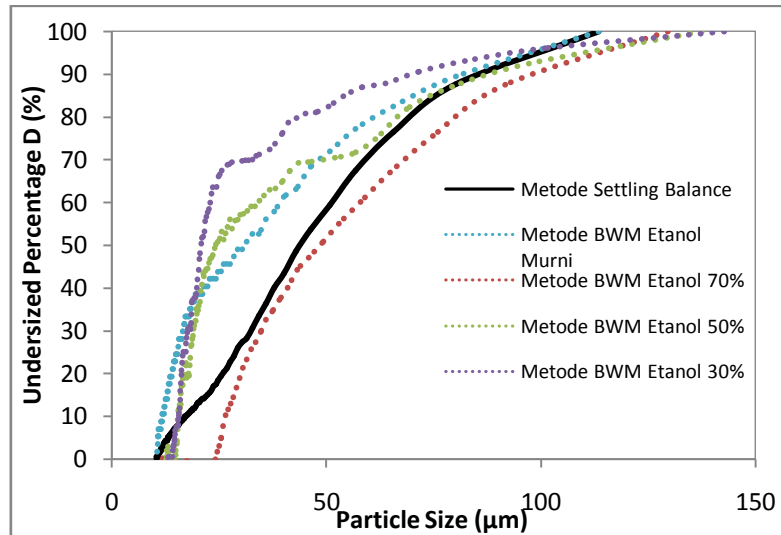
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

4.2 Hasil Pengukuran dengan Menggunakan Etanol Teknis

Gambar 3.3 memberikan gambaran bahwa penggunaan etanol murni lebih baik daripada etanol teknis. Semakin tinggi konsentrasi etanol, maka distribusi hasil pengukuran partikel akan

semakin baik. Pada berbagai konsentrasi ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa rentang ukuran partikel yang diukur dengan metode BWM sebanding dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode *settling balance*.

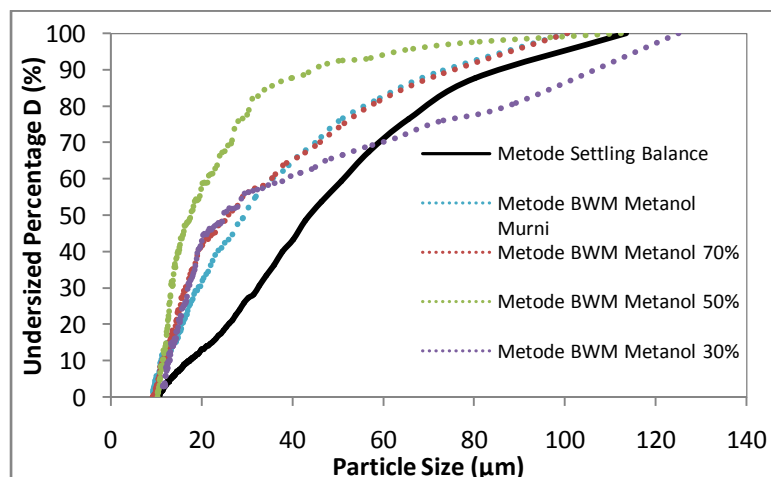


Gambar 3.3 Distribusi Ukuran Partikel Tepung Terigu Menggunakan Etanol Teknis

4.3 Hasil Pengukuran dengan Menggunakan Metanol Teknis

Gambar 3.4 memberikan gambaran bahwa penggunaan metanol murni lebih baik daripada metanol teknis. Semakin tinggi konsentrasi metanol, maka distribusi hasil pengukuran

partikel akan semakin baik. Pada berbagai konsentrasi ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa rentang ukuran partikel yang diukur dengan metode BWM sebanding dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode *settling balance*.



Gambar 3.4 Distribusi Ukuran Partikel Tepung Terigu Menggunakan Metanol Teknis

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan metode BWM pada penentuan distribusi ukuran partikel semen terigu, pelarut etanol memberikan hasil

lebih baik daripada pelarut metanol, dan semakin tinggi konsentrasi etanol/metanol yang digunakan, maka hasil distribusi ukuran partikel yang diperoleh akan semakin baik.

2. Rentang hasil pengukuran distribusi ukuran partikel dengan menggunakan metode



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

BWM ini sebanding dengan rentang hasil yang diperoleh dengan menggunakan *settling balance*.

5.2. Saran

Hasil pengukuran distribusi ukuran partikel dengan metode BWM masih perlu ditingkatkan dengan mempertimbangkan berbagai hal, seperti diameter batang, bentuk batang ataupun ukuran silinder.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas dukungan dana yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Fundamental tahun 2014.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Allen, T., Particle Size Measurement, Fourth edition, Chapman and Hall, London, pp. 345-355, 1990.
- Arakawa, M.; Shimomura, G.; Imamura, A.; Yazawa, N.; Yokoyama, T.; Kaya, N., A New apparatus for measuring particle size distribution based on centrifugal sedimentation, *Journal of the Society of Materials Science of Japan*, 33, 1141-1145, 1984.
- Fukui, K.; Yoshida, H.; Shiba, M.; Tokunaga, Y., Investigation about data reduction and sedimentation distance of sedimentation balance method, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 33, 393-399, 2000.
- Kuriyama, M.; Tokanai, H.; Harada, E., Maximum stable drop size of pseudoplastic dispersed-phase in agitation dispersion, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 26, 745-748, 2000.
- Minoshima, H.; Matsushima, K.; Shinohara, K., Experimental study on size distribution of granules prepared by spray drying: the case of a dispersed slurry containing binder, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 31, 102-107, 2005.
- Motoi, T.; Ohira, Y.; Obata, E., Measurement of the floating particle size distribution by buoyancy weighing-bar method, *Powder Technology*, 201, 283-288, 2010.
- Obata, E.; Ando, K., Particle size measurements by fluidization: From laminar flow region to the turbulent flow region, *Encyclopedia of Fluid Mechanics, Supplement 2*, Gulf Publishing, Houston, pp. 169-189, 1993.
- Obata, E.; Ohira, Y.; Ohta, M., New measurement of particle size distribution by buoyancy weighing-bar method, *Powder Technology*, 196, 163-168, 2009.
- Obata, E.; Watanabe, H., Measurement of particle sizes by fluidization, *Encyclopedia of Fluid Mechanics, vol. 4*, Gulf Publishing, Houston, pp. 221-236, 1986.
- Obata, E.; Watanabe, N.; Endo, N., Measurement of size and size distribution of particles by fluidization, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 15, 23-28, 1982.
- Odén, S., The size distribution of particles in soils and the experimental methods of obtaining them, *Soil Science*, 19, 1-35, 1925.
- Ohira, Y.; Furukawa, K.; Tambun, R.; Shimadzu, M.; Obata, E., Buoyancy weighing-bar method: A particle size distribution measurement using new settling method, *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, 69, 17-26, 2010.
- Ohira, Y.; Takahashi, H.; Takahashi, M.; Ando, K., Wall heat transfer in a double-tube coal-slurry bubble column, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 30, 360-367, 2004.
- Society of Chemical Engineering of Japan, *Chemical Engineering Handbook*, 5th edition, Maruzen, Tokyo, Japan, pp. 224-231, 1988.
- Tambun, R.; Motoi, T.; Shimadzu, M.; Ohira, Y.; Obata, E., Size distribution measurement of floating particles in the Allen region by a buoyancy weighing-bar method, *Advanced Powder Technology*, 22, 548-552, 2011.
- Tambun, R.; Nakano, K.; Shimadzu, M.; Ohira, Y.; Obata, E., Sizes Influences of Weighing Bar and Vessel in the Buoyancy Weighing-Bar Method on Floating Particle Size Distribution Measurements, *Advanced Powder Technology*, 23, 855-860, 2012.
- Tambun, R.; Ohira, Y.; Obata, E., Graphical analogy of particle size distribution among Andreasen pipette, settling balance, fluidization-curve and buoyancy weighing-bar methods, *Proceeding of the 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress*, Taipei, Taiwan, 2010.
- Tambun, R.; Shimadzu, M.; Ohira, Y.; Obata, E., Definition of the New Mean Particle Size based on the Settling Velocity in Liquid, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 45, 279-284, 2012.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

EKSTRAKSI RIMPANG KUNYIT (*Curcuma domestica*) MENGHASILKAN OLEORESIN MENGGUNAKAN EKSTRAKSI MASERASI DENGAN PELARUT ETANOL

Jayanudin^{1*}, Nurur Rifqoh, Rizki Dwi Roza

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman km.3 Cilegon 24235, Telp. 0254395540

*Email : jaya_hisyam@yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan industri terhadap penggunaan oleoresin adalah sebagai bahan aditif bagi industri pangan, farmasi dan kosmetik, maka perlu adanya suatu pengolahan kunyit dalam bentuk oleoresin yang lebih mudah dan efektif dalam penggunaannya. Produksi oleoresin dapat diperoleh dengan metode ekstraksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum dalam menghasilkan oleoresin kunyit berdasarkan persen rendemen yang dihasilkan dan menganalisa konsentrasi senyawa kurkumin yang terkandung menggunakan analisa *UV-Vis Spectrometry*. Prosedur percobaannya adalah menyiapkan sampel kunyit yang telah disesuaikan dengan variasi yaitu dengan memvariasikan lama waktu ekstraksi (12 jam, 24 jam, 36 jam), ukuran partikel kunyit (-20+30 mesh, -40+60 mesh, -60+80 mesh), rasio pelarut (1:4, 1:6, 1:8). Mengekstraksi sampel dengan metode maserasi perendaman. Hasil keluaran proses ekstraksi dipisahkan dengan metode destilasi vakum dengan suhu 40°C dan tekanan 0,2 bar. Setelah itu melakukan analisa kimia persen rendemen oleoresin kunyit dan analisa *Spektrometer UV-Vis* untuk mengetahui kadar kurkumin dalam oleoresin. Hasil penelitian diperoleh rendemen oleoresin terbesar sebesar 25,5% pada kondisi operasi waktu ekstraksi 24 jam, -60+80 mesh, dengan perbandingan massa sampel dan pelarut 1:8. Kadar kurkumin terbesar berdasarkan analisa menggunakan *Spectrometry UV-Vis* adalah 8,19%.

Kata kunci: Oleoresin, Rimpang Kunyit, Ekstraksi Maserasi, Kurkumin

Abstract

The use of oleoresins as additives for the food industry, pharmaceutical and cosmetics, it is necessary to treat them in the form of turmeric oleoresin easier and more effective in its use. Oleoresin production can be obtained with the method of extraction. The purpose of this research was to obtain the optimum conditions to produce turmeric oleoresin based on percent yield and analyzing the concentration of curcumin compounds contained using UV-Vis Spectrometry analysis. Experimental procedure was prepared a sample of turmeric that has been adapted to the variation that by varying the length of time of extraction (12 hours, 24 hours, 36 hours), turmeric particle size (-20 +30 mesh, -40+60 mesh, -60+80 mesh), the ratio of solvent (1: 4, 1: 6, 1: 8), extraction method with maceration. The results of the extraction process were separated by vacuum distillation method with 40 ° C and a pressure of 0.2 bars. After that perform chemical analyzes percent yield of oleoresin turmeric and UV-Vis spectrometer analysis to determine levels of curcumin in the oleoresin. The results obtained large oleoresin yield by 25.5% on the operating conditions of extraction time 24 hours, -60+80 mesh, with a mass ratio of sample and solvent 1: 8. Large curcumin levels based analysis using UV-Vis Spectrometry was 8.19%.

Keywords: Oleoresin, Tumeric, Maceration extraction, Curcumin



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang kaya akan rempah - rempah dan merupakan salah satu komoditi ekspor. Rempah-rempah merupakan bahan hasil pertanian yang digunakan sebagai sumber citarasa dan aroma. Selain itu rempah - rempah juga dapat dijadikan sebagai bumbu makanan, minuman bahkan dapat digunakan untuk obat - obatan dan bahan kosmetik (Winarto, 2003). Rimpang kunyit mengandung minyak atsiri, oleoresin, gom, lemak, protein, kalsium, fosfor, besi dan senyawa kurkumin. Kurkumin sangat berguna karena memiliki sifat antioksidan. Di perusahaan jamu dan obat-obatan (farmasi), kunyit termasuk bahan baku utama ramuan obat (Winarto, 2003). Ekstraksi dengan etil alcohol, metal klorida, atau aseton menghasilkan 6-10% oleoresin yang mengandung 35 -34% kurkumin (Trubus, 2009).

Selama penyimpanan dan pengangkutan ke tempat lain, kunyit sering mengalami pencemaran dan kerusakan yang dapat menurunkan mutu. Salah satu cara penanganan persoalan ini adalah dengan mengekstrak oleoresin dari kunyit tersebut. Oleoresin adalah salah satu produk rempah-rempah yang kental atau gel yang umumnya mengandung minyak atsiri, resin, dan komponen aktif yang terdapat di dalam rempah. Oleoresin akan memberikan rasa dan aroma yang khas dari bahan asalnya. Dalam oleoresin terdapat minyak atsiri. Saat ini produksi dan konsumsi oleoresin masih didominasi oleh negara-negara Eropa dan Amerika. Indonesia sebagai penghasil utama rempah-rempah berpeluang untuk dapat memproduksi oleoresin di dalam negeri (Fajriani, 2008).

Alasan utama disajikan dalam bentuk oleoresin adalah alasan ekonomis dan higienis. Rempah-rempah kering mengandung lebih banyak komponen yang tidak diperlukan secara fungsional daripada oleoresinnya dan proses produksi oleoresin dapat mematikan mikroba. Dalam proses penyimpanan, produk oleoresin memiliki stabilitas yang lebih baik dalam menjaga warna dan aroma dibandingkan dengan proses pengeringan. Proses pembuatan oleoresin tidak melalui sintesa kimiawi. Oleh sebab itu, oleoresin bersifat natural. Solvent hanya digunakan sebagai sarana untuk mengisolasi kandungan

aktif, contohnya adalah kunyit yang digunakan sebagai pewarna dengan status natural.

Salah satu tahapan terpenting dalam pengambilan oleoresin adalah proses ekstraksi. Proses ekstraksi oleoresin dipengaruhi oleh beberapa aspek teknis yaitu ukuran bahan, jenis pelarut, rasio pelarut, metode ekstraksi, lama ekstraksi, dan suhu ekstraksi (Fajriani, 2008). Dari penelitian yang dilakukan oleh Fajriani (2008) tentang pengaruh suhu dan lama ekstraksi terhadap rendemen oleoresin diperoleh kesimpulan bahwa suhu 50°C dengan lama ekstraksi 4 jam merupakan perlakuan terbaik menghasilkan rendemen oleoresin kunyit tertinggi 27.99%. Yunanda dan Widiyaswari (2012) menghasilkan rendemen oleoresin 20% dengan lama ekstraksi 7 jam pada suhu 83°C.

Pada penelitian ini ingin mengetahui perolehan rendemen optimum dari berbagai variasi metode ekstraksi maserasi. Pelarut yang digunakan adalah etanol dengan pertimbangan tingkat *toxic* dibandingkan metanol yang bersifat karsinogenik namun dengan kepolaran yang tidak jauh berbeda dengan metanol.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah rimpang kunyit, etanol pro analis merck sebagai pelarut, sedangkan alat yang digunakan adalah satu set ekstraktor dan distilasi vakum dan *Spectrometry UV-Vis*.

2.2. Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian ini adalah kunyit dipotong kecil-kecil dijemur sampai kering, kemudian di haluskan dengan variasi ukuran partikel -20+30 mesh, -40+60 mesh, -60+80 mesh. Selanjutnya serbuk kunyit dimasukan dalam ekstraktor yang berisi pelarut etanol, rasio berat antara kunyit dengan etanol adalah 1:4, 1:6, 1:8. Metode ekstraksi yang digunakan adalah ekstraksi maserasi yaitu dengan merendam bubuk kunyit dengan pelarut pada suhu ruang dengan waktu perendaman 12 jam, 24 jam, 36 jam. Hasil ekstraksi di distilasi untuk memisahkan pelarut dengan oleoresin kunyit yang telah dihasilkan menggunakan distilasi vakum pada suhu 40°C tekanan 0,2 bar. Oleoresin kunyit yang dihasilkan di hitung rendemen dan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dianalisa untuk mengetahui konsentrasi kurkumin menggunakan *Spektrometer UV-Vis*.

2.3 Prosedur Analisa Kadar kurkumin dengan *Spektrometer UV-Vis*

Prosedur penentuan kadar kurkumin dengan spektrofotometer UV-Vis dalam tahap analisa pada penelitian ini adalah sebagai berikut : Tahap awal analisa oleoresin kunyit adalah dengan menentukan panjang gelombang maksimum, kemudian memasukkan larutan blanko berupa ethanol 96% ke dalam kuvet dengan memasukkan $\frac{3}{4}$ volume kuvet ke dalam kuvet yang telah disediakan. Menghitung absorbansi larutan blanko berupa ethanol pada panjang gelombang maksimum, setelah itu memasukkan larutan sampel (campuran sampel oleoresin dengan larutan standar) ke dalam kuvet dengan memasukkan $\frac{3}{4}$ volume kuvet ke dalam kuvet yang telah disediakan. Menghitung absorbansi larutan sampel pada panjang gelombang maksimum, mengulang langkah tersebut untuk variasi konsentrasi lainnya. Membuat kurva kalibrasi antara absorbansi dengan konsentrasi larutan standar. Menghitung persamaan regresi dari kurva kalibrasi tersebut. Menghitung kadar kurkumin dalam sampel menggunakan persamaan regresi tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

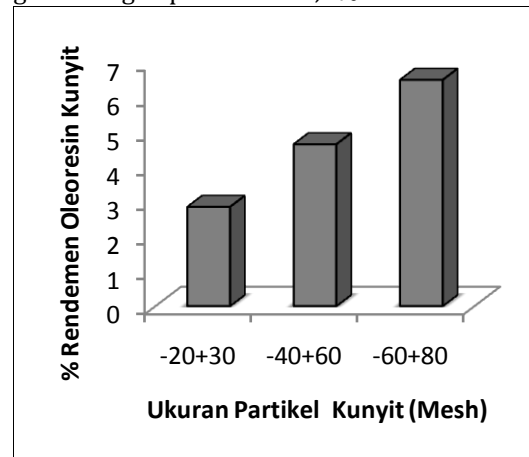
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, FT. UNTIRTA. Hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut :

3.1. Pengaruh Ukuran Partikel Pada Ekstraksi Kunyit Terhadap Rendemen Oleoresin Kunyit

Hasil penelitian ekstraksi rimpang kunyit secara maserasi dengan variasi ukuran partikel kunyit dengan komposisi massa sampel kunyit 20 gram, waktu perendaman 12 jam, rasio massa sampel dengan pelarut etanol 1:4 sebanyak 101ml dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada ukuran partikel -20+30 mesh diperoleh hasil rendemen 0,57 gram dari massa sampel 20 gram, sehingga diperoleh 2,85%, sedangkan pada ukuran partikel kunyit -40+60 mesh diperoleh hasil rendemen yang lebih besar yaitu 0,93 gram dari massa sampel 20 gram sehingga diperoleh persen rendemen

sebesar 4,65%. Pada ukuran partikel kunyit -60+80 mesh diperoleh rendemen sebesar 1,3 gram dengan prosentase 6,5%.



Gambar 1. Pengaruh Ukuran Partikel Kunyit Terhadap Rendemen Oleoresin

Dari hasil yang diperoleh, rendemen terbesar pada ukuran partikel -60+80 mesh, hal ini disebabkan oleh operasi ekstraksi akan berlangsung dengan baik bila diameter partikel diperkecil yaitu pada ukuran -60+80 mesh. Proses difusi yang terjadi secara alami karena ekstraksi tidak menggunakan pengadukan, hanya menggunakan perendaman dengan pelarut. Sehingga membutuhkan waktu yang relative lama agar proses pengambilan ekstrak pada kunyit dapat dilakukan secara optimal.

Ukuran bahan -20+30 mesh, masih terlalu besar sehingga menyulitkan penetrasi pelarut ke dalam jaringan bahan dan kontak antara bahan yang diekstrak dengan pelarut menjadi tidak maksimal sehingga hasil oleoresin yang didapat juga rendah. Anam (2005) mengatakan bahwa semakin besar ukuran bahan rempah - rempah yang akan diekstraksi akan memerlukan waktu ekstraksi yang lebih lama untuk mendapatkan rendemen yang tinggi. Ukuran bahan makin kecil dapat meningkatkan rendemen oleoresin kunyit, karena menurut Anam (2005) semakin kecil ukuran bahan maka semakin banyak sel-sel yang pecah sehingga semakin luas bidang kontak antara bahan (sampel kunyit) dengan pelarut. Oleh sebab itu pengecilan bahan -40+60 mesh pada penelitian ini menghasilkan rendemen oleoresin yang lebih banyak dibanding ukuran -20+30 mesh. Menurut Anam (2005) bahwa kehalusan bubuk bahan yang



Seminar Nasional Intergrasi Proses

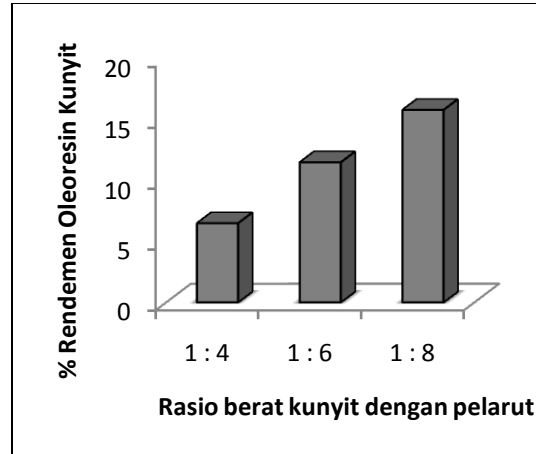
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

diekstraksimerupakan faktor yang harus diperhatikan, karena semakin halus bahan dalam proses ekstraksi dapat menyebabkan penyumbatan pada saat penyaringan. Pada proses ekstraksi maserasi, peristiwa transfer massa meliputi proses difusi dari dalam ke permukaan padatan kunyit, perpindahan massa dari permukaan padatan kunyit ke pelarut etanol dan difusi di dalam pelarut etanol. Semakin halus ukuran partikel kunyit yang digunakan untuk proses ekstraksi, maka akan memberikan luas kontak yang besar dengan ukuran partikel yang semakin kecil, hal ini agar pelarut etanol dapat berdifusi dan mengekstrak oleoresin kunyit dalam jumlah yang besar pula.

3.2. Pengaruh Rasio Pelarut Pada Ekstraksi Kunyit Terhadap Rendemen Oleoresin Kunyit

Penelitian ekstraksi kunyit hasil rendemen terbesar didapat pada ukuran apartikel -60+80 mesh, sehingga ukuran ini yang akan digunakan sebagai variasi tetap untuk mencari perubahan rasio pelarut terhadap % rendemen oleoresin kunyit yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Rasio pelarut Terhadap Rendemen Oleoresin

Dari Gambar 2 diperoleh hasil rendemen pada rasio pelarut 1:4 adalah 1,3 gram dari massa sampel sebanyak 20 gram dan prosentase perolehan rendemen sebesar 6,5%. Pada rasio pelarut 1:6 diperoleh rendemen sebanyak 2,3 gram dari 20 gram massa sampel dan prosentase rendemen oleoresin kunyit sebesar 11,5%. Untuk rasio pelarut 1:8, perolehan rendemen sebesar 3,16

gram dengan prosentase 15,8%.

Perolehan rendemen tertinggi yaitu pada rasio pelarut 1:8 yang merupakan konsentrasi tertinggi dibandingkan rasio pelarut dengan bahan 1:6 dan 1:4. Hal ini disebabkan semakin banyak volume pelarut yang digunakan maka akan semakin besar proses pendistribusian dan pengkontakannya antara pelarut dengan sampel kunyit, sehingga proses distribusi semakin merata ke seluruh permukaan sampel.

Suryandari (1981) menyatakan bahwa semakin besar volume pelarut yang digunakan maka rendemen oleoresin yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga hasilnya akan bertambah sampai pada titik jenuh pelarut. Pada saat pelarut masih relatif kecil volumenya maka oleoresin yang terekstrak jumlahnya kecil, sebab pelarut mempunyai keterbatasan dalam melarutkan oleoresin. Jika volumenya bertambah maka daya larutnya juga bertambah, sehingga mencapai titik optimum dimana pelarut tersebut menjadi jenuh. Jadi daya larut akan meningkat ketika volume pelarut ditambahkan ke dalam proses ekstraksi hingga mencapai titik jenuh.

Larutan jenuh adalah larutan yang mengandung jumlah terlarut berlebihan, pada suhu tertentu, sehingga kelebihan itu tak lagi mau melarut. Jenuh berarti pelarut telah seimbang dengan zat terlarutnya, atau jika larutan tidak bias lagi melarutkan zat terlarut yang ditambahkan. Artinya konsentrasinya sudah maksimal (Arsyad, 2001). Pudjaat (1984) menyatakan larutan ini mengandung zat terlarut dalam jumlah yang diperlukan untuk adanya kesetimbangan antara zat terlarut yang larut dan yang tak larut.

3.3. Pengaruh Waktu Ekstraksi Kunyit Terhadap Rendemen Oleoresin Kunyit

Berdasarkan Gambar 4.3 perolehan rendemen oleoresin terhadap waktu perendaman ekstraksi maserasi kunyit menunjukkan bahwa nilai perolehan rendemen oleoresin berbanding lurus dengan lamanya waktu perendaman. Jadi, semakin lama waktu perendaman maka semakin besar pula perolehan rendemen yang diperoleh. Dari data tersebut pada 12 jam waktu perendaman, rendemen oleoresin yang diperoleh sebesar 15,8%. Pada waktu 24 jam perendaman sampel kunyit, perolehan

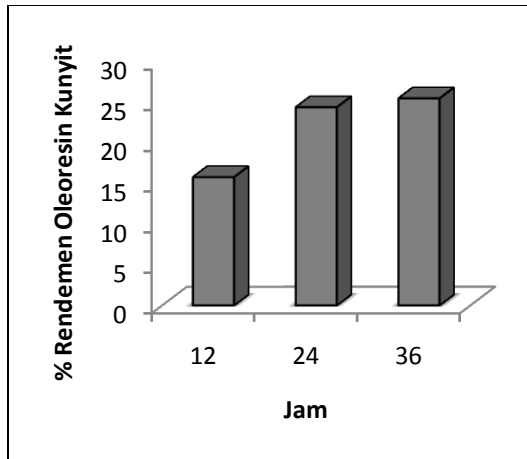


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

rendemen yang diperoleh semakin meningkat yaitu sebesar 24,4%. Pada waktu perendaman ekstraksi kunyit 36 jam, rendemen oleoresin yang diperoleh adalah 25,5%.



Gambar 3. Pengaruh Waktu perendaman Terhadap Rendemen Oleoresin

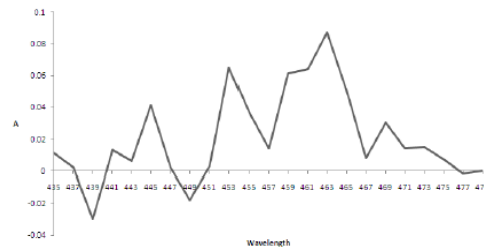
Rendemen maksimum diperoleh pada lama waktu perendaman 36 jam. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu ekstraksi, rendemen yang diperoleh akan meningkat, serta semakin banyak oleoresin yang terdesorpsi ke pelarut. Ekstraksi yang dilakukan pada percobaan ini dilakukan pada suhu kamar, sehingga difusi yang terjadi tanpa perbedaan temperatur, namun prosesnya membutuhkan waktu yang lama. Semakin lama proses ekstraksi maserasi maka semakin maksimal proses difusi yang berlangsung sehingga diperoleh rendemen yang semakin besar. Lamanya waktu ekstraksi kunyit dengan cara maserasi sangat berpengaruh terhadap rendemen oleoresin kunyit. Sebab semakin lama waktu ekstraksi akan membuat pelarut etanol mengekstrak oleoresin didalam kunyit lebih banyak dengan waktu pengontakan yang lebih lama. Semakin lama waktu ekstraksi, warna yang dihasilkan pada rendemen oleoresin kunyit akan semakin gelap (kuning kecokelatan). Warna yang dihasilkan pada rendemen berasal dari senyawa kurkumin yang terekstrak oleh pelarut.

3.4. Hasil Analisa Konsentrasi Senyawa Kurkumin Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

Berdasarkan analisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperoleh panjang

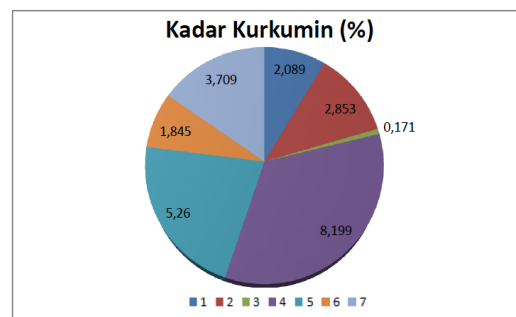
gelombang maksimum untuk sampel oleoresin kunyit yang terlihat pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 diperoleh data nilai absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 463 nm yang merupakan panjang gelombang maksimum dari oleoresin kunyit dengan range pengukur dari 430 nm - 480 nm, panjang gelombang tersebut sebagai acuan pada penentuan kurva standar metode adisi.



Gambar 4. Panjang gelombang maksimum oleoresin kunyit

Nilai panjang gelombang maksimum yang diperoleh akan sesuai dengan hukum *lambert-beer* sehingga akan mengurangi potensi kesalahan pengukuran. Dari data hasil analisa menggunakan metode adisi diperoleh grafik perbandingan antara prosentase kurkumin (kadar kurkumin) dalam oleoresin kunyit, sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil Analisa Konsentrasi Kurkumin pada Oleoresin Kunyit Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh data kadar kurkumin pada sampel 1 (12jam,-20+30 mesh,1:4) diperoleh kadar kurkumin sebesar 2,098 %. Pada sampel 2 (12 jam,-40,+60 mesh,1:4) perolehan kadar kurkumin sebesar 2,853 %. Pada sampel 3 (12 jam,-60+80 mesh,1:4) diperoleh kadar kurkumin senilai 0,171 %. Pada sampel 4 (12 jam,-60+80 mesh,1:6) diperoleh kadar kurkumin



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

senilai 8,199%. Pada sampel 5 (12 jam, -60+80 mesh, 1:8) kadar kurkumin yang didapat sebesar 5,26 %. Pada sampel 6 (24 jam, -60+80 mesh, 1:8) diperoleh kadar kurkumin sebesar 1,845 %. Pada sampel 7 (36 jam, -60+80 mesh, 1:8) diperoleh kadar kurkumin sebesar 3,709 %.

Peroleh kadar kurkumin terbesar terdapat pada sampel 4 sebesar 8,199 %. Hal ini menunjukkan bahwa hasil oleoresin yang diperoleh dengan proses ekstraksi maserasi dan destilasi mengandung lebih banyak kurkumin dibandingkan sampel lainnya. Kondisi optimum untuk pengambilan oleoresin adalah pada waktu ekstraksi maserasi 12 jam, semakin lama waktu ekstraksi semakin besar perolehan kadar kurkumin, hal ini disebabkan karena waktu kontak antara kurkumin dengan pelarutnya semakin lama. Namun pada waktu 12 jam ternyata hasil kurkumin mencapai puncaknya, waktu yang lebih lama ternyata sudah tidak efektif lagi karena waktu kontak yang diperlukan pelarut dengan bahan kunyit sudah cukup dan mencapai kondisi kesetimbangan.

Dari Gambar 5, dapat diketahui bahwa pada ukuran partikel -60+80 mesh diperoleh kadar kurkumin yang lebih besar dibandingkan dengan pada ukuran partikel -40+60 mesh dan -20+30 mesh sebab pada ukuran butir semakin kecil akan memudahkan pelarut dalam melarutkan minyak atsiri, beserta zat warna, resin, dan zat-zat lain seperti protein dan wax yang terkandung dalam serbuk kunyit. Pada perbandingan pelarut 1:6 kadar kurkumin diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan pada perbandingan pelarut 1:4 dan 1:8. Semakin tinggi konsentrasi etanol maka semakin rendah tingkat kepolaran pelarut yang digunakan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kemampuan pelarut dalam mengekstrak kandungan oleoresin yang juga bersifat kurang polar. Namun pada perbandingan pelarut 1:6 kadar kurkumin yang diperoleh telah mencapai maksimum sehingga pada perbandingan pelarut 1:8 sudah tidak berpengaruh lagi dikarenakan perbandingan pelarut 1:6 sudah maksimal dalam mengekstrak kurkumin yang terdapat pada kunyit dan telah mencapai kondisi kesetimbangan sehingga penambahan etanol lagi dapat mengurangi perolehan kurkumin. Pada sampel 4 yang diukur pada diperoleh

grafik hubungan antara penambahan volume standar kurkumin dan sampel oleoresin dengan absorbansi yang dihasilkan oleh spektrofotometer UV-Vis.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Kondisi operasi yang menghasilkan yield terbesar (25,5%) yaitu dengan lama waktu ekstraksi 36 jam, ukuran partikel kunyit -60+80 mesh dan rasio massa sampel dengan pelarut 1:6. Kadar kurkumin terbesar yang terdapat dalam rendemen oleoresin setelah melakukan analisa spektrofotometer UV-VIS dengan metode standar adisi diperoleh nilai 8,199 % pada sampel 4 yaitu lama waktu ekstraksi 12 jam, rasio pelarut dengan massa sampel 1:6, dan ukuran partikel kunyit -60+80 mesh.

Parameter penting lain yang tidak dilakukan pada penelitian ini adalah pengadukan, pengaruh pengadukan akan menentukan proses difusi sehingga akan mempercepat dan memperbesar rendemen yang diperoleh.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Jurusan Teknik Kimia atas fasilitas yang sudah disediakan. Baik untuk peralatan penelitian dan alat analisa Spektrofotometer UV-Vis

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alfifah, E. dan Tim Lentera. 2003. Manfaat dan Khasiat Temulawak : Rimpang Penyembuh Penyakit. Agromedia : Jakarta.
- Dachriyanus. 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektrofotometri, Cetakan pertama, Padang, CV. Trianda Anugrah
- Dalimartha Setiawan, 2000, Atlas Tumbuhan Obat Indonesia, Trubus Agriwidya, Jakarta.
- Kristiana, Hery. 2008. Gambaran Darah Mencit (*Mus musculus albinus*) Yang Diberi Salep Ekstrak Etanol dan Fraksi Hexan Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* Linn.) Pada Proses Persempuhan. Laporan Skripsi IPB : Bogor.
- Inayah, Nur. 2007. Pengaruh Lama Ekstraksi dan Jumlah Pelarut terhadap Rendemen dan Mutu Oleoresin (*Curcuma*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- domestica). Universitas Muhamadiyah : Malang
- Lestari, Wina E.2006. Pengaruh Nisbah Rimpang dengan Pelarut dan Lama Ekstraksi terhadap Mutu Oleoresin Jahe Merah (*Zingiber officinale* var.rubrum). Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Muhiedin, F. 2008. Efisiensi Proses Ekstraksi Oleoresin Lada Hitam dengan Metode Ekstraksi Multi Tahap. Universitas Brawijaya:Malang.
- Murthy KNC, Jayaprakasha GK, Singh RP. 2002. Studies on antioxidant activityof pomegranate (*Punica granatum*) peel extract using in vivo models. *JAgric Food Chem* (50): 4791-4795.
- Rahardjo, Mono dan Rostiana. 2005. Budidaya Tanaman Kunyit. Sirkuler No. 11IPB : Bogor.
- Robert E. Treybal. 1981. "Mass-Transfer Operations",3th Edition, Mc Graw Hill,Inc. New York, p.194-215
- Tim Lentera. 2002. Khasiat dan manfaat jahe merah si rimpang ajaib Sehatdengan ramuan tradisional. *Agro Media* : Jakarta.
- Winarto, W.P dan Tim Lentera. 2004. Khasiat & Manfaat Kunyit. *Agro Media Pustaka* : Jakarta.
- Yunanda, R dan Widiyaswari, A. 2012. Pengaruh metode ekstraksi sokletasi terhadap rendemen oleoresin kunyit dengan pelarut etanol .Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.



PENGARUH KECEPATAN DAN TEMPERATUR GAS BUANG PADA KINERJA THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER UTUH SKALA KECIL

Yuswan Muharam^{1*}, I Ketut Sukariawan

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus Baru UI- Depok 16424, Telp/Fax: (021)7863516

*E-mail: muharam@che.ui.ac.id

Abstrak

Penggunaan alat penurun emisi seperti *catalytic converter* pada sistem pembuangan gas kendaraan bermotor dapat mengendalikan emisi kendaraan. Dalam pengembangan *catalytic converter*, pemodelan merupakan salah satu upaya untuk efisiensi waktu dan biaya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kecepatan dan temperatur gas buang pada kinerja *three-way catalytic converter* melalui simulasi dengan menggunakan model fisikokimia *catalytic converter* utuh skala kecil. *Converter* yang dimodelkan memiliki konfigurasi subtrat *square honeycomb* dengan ukuran geometri kecil, namun dengan spesifikasi *channel* monolit sesuai dengan ukuran sebenarnya. Panjang *converter* adalah 40 mm, diameter 20 mm, dan diameter *channel* 1 mm. Aliran fluida dimodelkan dengan persamaan Darcy. Persamaan perpindahan massa meliputi perpindahan dan reaksi spesi-spesi pada *channel* reaksi. Perpindahan panas dimodelkan untuk fasa gas dan fasa padat monolit. Reaksi katalitik mempertimbangkan 4 reaksi utama yang melibatkan 8 komponen (C_3H_6 , CO_2 , CO , H_2 , H_2O , N_2 , NO dan O_2). Hasil simulasi menunjukkan bahwa konversi CO , C_3H_6 dan NO bertambah dengan berkurangnya kecepatan gas buang. Pada kecepatan 0,7 m/detik, konversi CO , C_3H_6 di keluaran koverter berada di atas 90%, sedangkan NO sekitar 68%. Pada kecepatan 15 m/detik, konversinya turun; untuk CO menjadi 27%, C_3H_6 23%, dan NO 20%. Konversi CO dan C_3H_6 dan NO meningkat dengan semakin tingginya temperatur gas buang. Pada campuran stoikiometri dan temperatur gas buang 800 K, konversi ketiga polutan mencapai lebih dari 90%.

Kata kunci: *three-way catalytic converter*, pemodelan, simulasi.

Abstract

The use of emission-lowering devices such as catalytic converters in an exhaust gas system of motor vehicles can control vehicle emissions. In the development of catalytic converters, modeling is one of efforts for time and cost efficiency. The objective of this research is to find out the effects of velocity and exhaust gas temperature on the performance of three-way catalytic converters through simulation using physicochemical model of full but small-scale catalytic converters. Converter modeled has a square honeycomb configuration with smaller size, but monolith channel specification appropriate to actual size. Converter length is 40 mm, diameter 20 mm, and diameter channels 1 mm. Fluid flow is modeled by Darcy equation. Mass transfer equation includes species transportation and reactions in channels. Heat transfer is modeled for gas phase and solid phase monolith. Catalytic reactions takes into account four main reactions involving eight components (C_3H_6 , CO_2 , CO , H_2 , H_2O , N_2 , NO and O_2). Simulation results show that the conversions of CO , C_3H_6 and NO increase with decreasing exhaust gas velocity. At the velocity of 0.7 m/sec, the conversions of CO and C_3H_6 in converter output are above 90%, and that of NO about 68%. At the velocity of 15 m/sec, the conversions drop; those of CO , C_3H_6 and NO to 27%, 23% 20%, respectively. Conversions of CO , C_3H_6 and NO increases with increasing exhaust gas



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

temperature. At stoichiometric mixture and the exhaust gas temperature of 800 K, the conversions of the three pollutants reach more than 90%.

Keywords: three-way catalytic converter, modeling, simulation

5. PENDAHULUAN

Emisi kendaraan bermotor merupakan salah satu permasalahan besar yang dihadapi masyarakat beberapa dekade terakhir. Lebih dari 1/3 emisi udara berasal dari kendaraan bermotor (EPA, 2006). Karena besarnya nilai emisi ini, untuk tercapainya udara bersih, pengendalian terhadap sumber emisi perlu dilakukan secara serius. Pengendalian terhadap emisi kendaraan bermotor bukan merupakan hal baru. Berbagai program dan peraturan mengenai pengendalian emisi kendaraan bermotor muncul dan berkembang seiring dengan semakin banyaknya kendaraan yang beroperasi.

Penggunaan alat penurun emisi pada sistem pembuangan gas kendaraan merupakan salah satu metode pengendalian emisi kendaraan. Alat yang umum digunakan adalah *catalytic converter*. Alat ini merupakan alat pasca-pembakaran yang dibuat dari monolit yang terbungkus dalam struktur logam yang dirancang untuk mendistribusikan aliran gas buang knalpot secara merata. Bahan katalis aktif ditambahkan pada konverter untuk mengonversi polutan gas buang menjadi gas yang tidak berbahaya. Pengembangan *catalytic converter* terus dilakukan melalui berbagai penelitian untuk meningkatkan kinerjanya, baik konversi, efisiensi energi maupun faktor-faktor ekonomis.

Pemodelan menjadi salah satu cara pengembangan *catalytic converter* untuk meminimalkan waktu dan biaya yang timbul jika dilakukan secara eksperimen. Pemodelan dan simulasi *catalytic converter* melibatkan berbagai komponen fisik dan kimia yang sangat kompleks. Dengan perkembangan teknologi komputer yang sangat pesat dalam dua dekade terakhir, simulasi *catalytic converter* secara lebih kompleks (*full-scale*

modelling) mulai banyak dilakukan. Dengan berbagai program *computational fluid dynamic* (CFD) yang tersedia, pemodelan bagian *catalytic converter* secara utuh dan menyeluruh masih memerlukan kemampuan komputer yang sangat tinggi sehingga banyak peneliti melakukan segmentasi terhadap berbagai proses yang terjadi pada *catalytic converter*.

Terdapat berbagai publikasi dan tulisan ilmiah mengenai pemodelan CFD dengan metode satu *channel* dari monolit konverter. Namun metode satu *channel* ini mulai diragukan hasilnya. Hal ini karena masing-masing *channel* pada monolit terhubung satu sama lain melalui proses perpindahan panas, dan adanya kemungkinan perbedaan laju alir pada masing-masing *channel*. Proses ekstrapolasi dari hasil simulasi metode satu *channel* ke seluruh konverter dapat menghasilkan kesalahan pada design konverter (Tischer dkk., 2001).

Secara umum pemodelan *catalytic converter* monolit secara skala utuh (*full scale*) akan memakan waktu yang sangat lama dan memerlukan sumber daya yang besar. Kumar dkk. (2010) yang melakukan simulasi *catalytic converter* monolit secara *full scale* dengan kimia heterogen kompleks memerlukan waktu enam hari dan memori 1 GB untuk menyelesaikan perhitungan. Hayes dkk. (2012) menyederhanakan model menjadi dua dimensi untuk penghematan waktu dan memori. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan perhitungan sistem keadaan tunak adalah dalam menit, sedangkan untuk keadaan transien adalah dua jam.

Pada penelitian ini pengaruh kecepatan dan temperatur gas buang pada kinerja *catalytic converter* dihitung dengan menggunakan model *full scale* 1/8 bagian dari



Seminar Nasional Intergrasi Proses

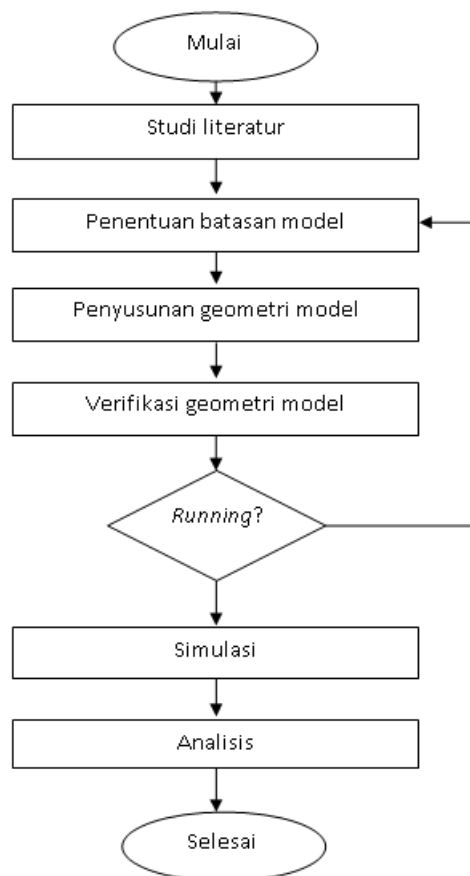
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

monolit *catalytic converter*. Hal ini karena konverter pada bagian monolit substrat dianggap seragam dan simetris sehingga pemodelan 1/8 bagian monolit konverter dapat mewakili performa konverter keseluruhan. Kompleksitas reaksi menjadi faktor utama dalam beban perhitungan pada proses simulasi *catalytic converter*. Untuk meminimalisasi beban perhitungan simulasi, pada penelitian ini digunakan hanya empat reaksi utama.

6. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap seperti terlihat pada Gambar.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan berkaitan dengan geometri *catalytic converter*, kondisi operasi, komposisi gas buang, kecepatan gas, jatuh tekan, pemodelan *catalytic converter* secara *full scale* dan kinetika reaksi kimia.

2.2. Penentuan batasan model

Model *catalytic converter* mempertimbangkan perpindahan massa komponen, perpindahan energi, dan perpindahan momentum dalam sistem tiga dimensi.

2.3. Penyusunan geometri model

Geometri *catalytic converter* dibuat pada Comsol Multiphysics dalam skala kecil (laboratorium), namun spesifikasinya sesuai dengan kondisi nyata. Variabel dan parameter proses ditentukan pada tahap ini.

2.4. Verifikasi geometri model

Verifikasi geometri model bertujuan untuk mendapatkan model yang dapat dihitung pada COMSOL Multiphysics dengan kisaran angka (*order of magnitude*) hasil yang layak. Jika sudah, maka berlanjut ke tahap selanjutnya. Jika belum, maka kembali ke tahap penyusunan geometri model untuk memperbaiki kesalahan.

2.5. Simulasi

Simulasi adalah melakukan perhitungan model dengan bantuan COMSOL Multiphysics dengan berbagai variabel bebas (eksperimen) untuk menghasilkan variabel terikat (respons).

2.6. Analisis

Hasil perhitungan berupa profil konsentrasi komponen gas dan profil temperatur di dalam *catalytic converter* dianalisis.

3. PEMODELAN

Geometri model berupa monolit konverter berbentuk 1/8 silinder dengan diameter 20 mm dan panjang 40 mm seperti terlihat pada Gambar 2. *Channel* berbentuk balok dengan penampang bujur sangkar. Lebar sisi *channel* dan tebal dinding masing-masing adalah 1 mm dan 0,177 mm. Kerapatan *channel* adalah 62 cell/cm² (400 cpsi).

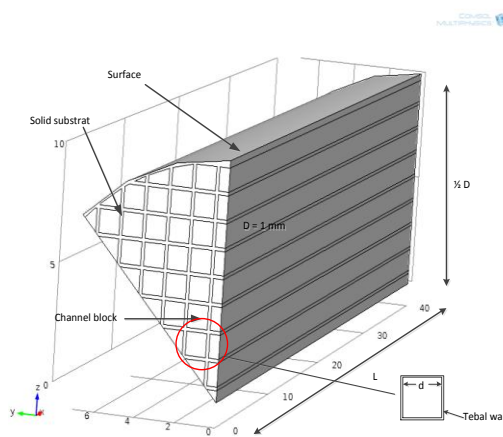


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014



Gambar 3. Geometri model

Aliran fluida dimodelkan dengan persamaan Darcy dengan asumsi bahwa aliran gas laminar. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$u = -\frac{k}{\mu}(\nabla p + \rho g \nabla D) \quad (1)$$

$$\nabla(\rho u) = 0 \quad (2)$$

Suku terakhir pada persamaan di atas merupakan efek gravitasi dengan ∇D merupakan elevasi sistem terhadap permukaan bumi (m). Monolit konverter didekati sebagai matriks berpori dengan permeabilitas k (m^2), densitas gas buang ρ (kg/m^3), kecepatan rata-rata u (m/s), dan viskositas gas μ (Pa.s).

Persamaan neraca massa komponen meliputi perpindahan difusi, konveksi di dalam *channel*, dan reaksi kimia di permukaan *channel* seperti berikut:

$$\nabla(-D\nabla C_i) + u\nabla C_i = R_i \quad (3)$$

dimana D_i adalah koefisien difusi komponen gas i (m^2/s), C_i adalah konsentrasi komponen i (mol/m^3), u adalah vektor kecepatan (m/s), dan R_i adalah laju reaksi komponen i ($mol/m^3.s$).

Perpindahan panas untuk campuran multikomponen fasa gas dan substrat monolit dimodelkan dengan persamaan-persamaan berikut:

$$\nabla(-k_g \nabla T) + \rho_g C_{pg} u \nabla T = 0 \quad (4)$$

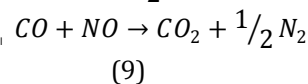
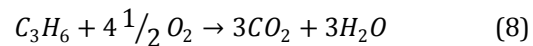
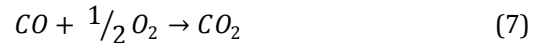
$$\nabla(-k_m \nabla T) + \rho_m C_{pm} u \nabla T = Q \quad (5)$$

dimana ρ_g dan ρ_m masing-masing adalah densitas gas dan monolit (kg/m^3), C_{pg} dan C_{pm} adalah kapasitas panas gas dan monolit

($J/kg.K$), k_g dan k_m adalah konduktivitas termal gas dan monolit ($W/m.K$), dan Q adalah panas reaksi (W/m^3) yang hanya terjadi di permukaan monolit, dengan

$$Q = -R_1 \Delta H_1 - R_2 \Delta H_2 - R_3 \Delta H_3 - R_4 \Delta H_4 \quad (6)$$

dan R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 masing-masing merupakan laju reaksi dari Persamaan 7 hingga Persamaan 10.



Kinetika reaksi oksidasi yang digunakan pada penelitian ini dikembangkan oleh Voltz et al. (1973), sedangkan reduksi NO diambil dari publikasi Subramanian dan Varma (1985).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Kecepatan Gas Buang

Untuk mengetahui pengaruh kecepatan gas buang terhadap kinerja konverter, kecepatan divariasikan dari 0,7 m/detik hingga 15 m/detik pada temperatur konstan 700 K dan campuran stoikiometri. Gambar 1 hingga Gambar 3 memperlihatkan konversi CO, C_3H_6 dan NO sepanjang arah aksial konverter pada berbagai kecepatan.

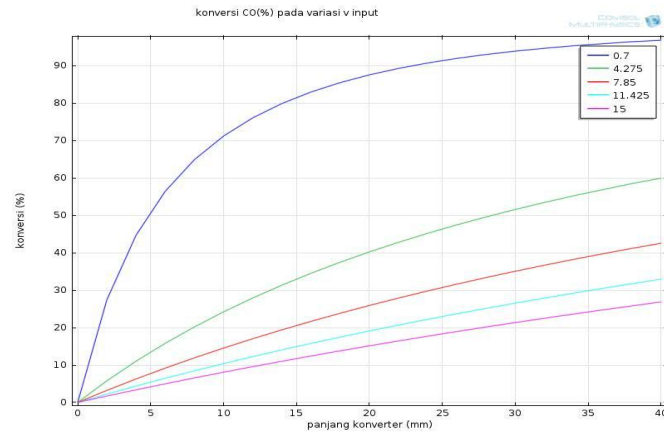
Pada gambar-gambar tersebut terlihat bahwa konversi CO, C_3H_6 dan NO tertinggi dicapai pada kecepatan 0,7 m/detik. Konversi ketiga polutan meningkat tajam di bagian depan konverter, kemudian melandai mendekati bagian belakang konverter. Di keluaran konverter konversi CO dan C_3H_6 masing-masing lebih dari 90%, sedangkan konversi NO adalah 68%. Konversi ketiga polutan berkurang dengan naiknya kecepatan gas buang. Hal ini terjadi karena pada kecepatan-kecepatan yang divariasikan (4,275 m/detik, 7,85 m/detik, 11,425 m/detik dan 15 m/detik) kecepatan gas di dalam *channel* monolit lebih besar dari waktu tinggal reaktan. Pada kecepatan 15 m/detik, konversi CO, C_3H_6 dan NO di keluaran konverter masing-masing adalah 27%, 23% dan 20%.



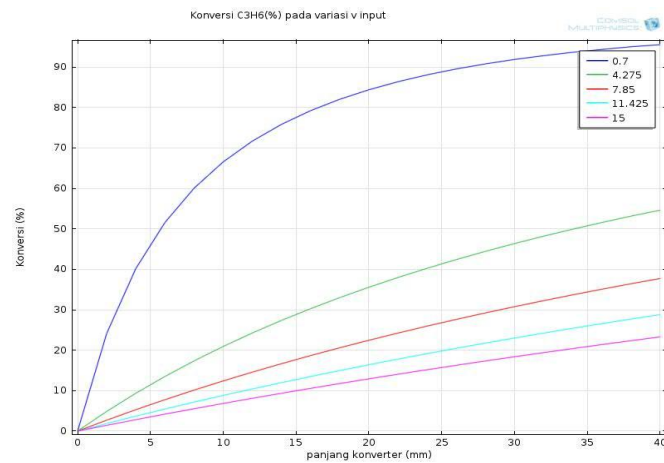
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

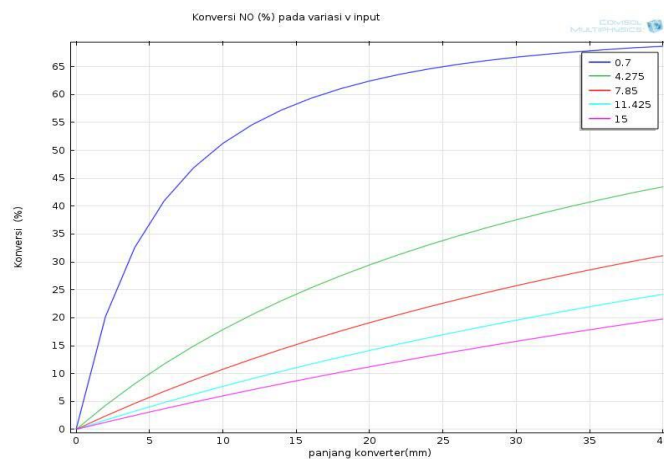
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 1. Konversi CO sepanjang aksial konverter pada berbagai kecepatan gas buang



Gambar 2. Konversi C₃H₆ sepanjang aksial konverter pada berbagai kecepatan gas buang



Gambar 3. Konversi NO sepanjang aksial konverter pada berbagai kecepatan gas buang

4.2 Pengaruh Komposisi dan Temperatur Gas Buang

Komposisi gas buang pada kendaraan umumnya dikelompokkan menjadi tiga,

sesuai dengan kerja mesin dan dinyatakan dalam λ (lambda) yang didefinisikan sebagai rasio A/F (udara/bahan bakar) stokiometri dengan A/F aktual. Komposisi gas dibagi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

menjadi komposisi pada kondisi (campuran) *rich* ($A/F < 14,7$, $\lambda > 1$), campuran stokiometri ($A/F = 14,7$, $\lambda = 1$), dan campuran *lean* ($A/F > 14,7$, $\lambda < 1$). Komposisi lengkap masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 1. Temperatur gas buang divariasikan dari 500 K hingga 850 K, sesuai dengan kondisi kerja konverter yang banyak digunakan.

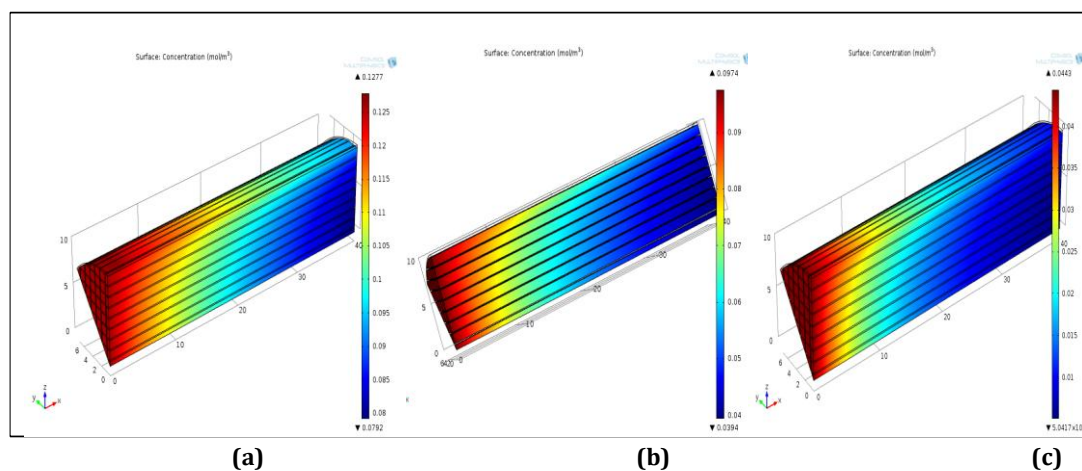
Tabel 1. Komposisi gas buang (% volume)

Komponen	$A/F = 14,5$ (<i>rich</i>)	$A/F = 14,7$ (stoikiometri)	$A/F = 14,8$ (<i>lean</i>)
CO	1,3	0,72	0,28
C ₃ H ₆	0,062	0,052	0,04
NO	0,099	0,099	0,1
O ₂	0,28	0,74	1,1
H ₂	0,43	0,21	0,093
CO ₂	12,11	12,5	13,1
H ₂ O	11,2	11,7	12,01
N ₂	74,519	73,979	73,277

Gambar 4 hingga Gambar 6 memperlihatkan profil konsentrasi CO, C₃H₆ dan NO pada berbagai komposisi gas buang dan temperatur 675 K. Seperti terlihat pada Gambar 4 konsentrasi CO berkurang lebih cepat ke arah belakang konverter dengan semakin banyaknya O₂ di dalam gas buang. Hal itu ditandai dengan warna biru pada ketiga gambar yang semakin ke kiri (depan konverter). Nitrogen oksida mengoksidasi CO sebagaimana O₂ mengoksidasi CO. Maka CO mengalami konversi paling tinggi pada komposisi *lean* dibandingkan komposisi lain karena rasio N₂ dan O₂ di dalam gas buang paling besar. Nitrogen oksida lebih mudah

terkonversi pada kondisi *rich* dibandingkan kondisi lainnya sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Hal ini terjadi karena pada kondisi *rich*, rasio CO lebih tinggi dibandingkan kondisi lainnya.

Gradien konsentrasi juga terjadi ke arah radial. Hal ini terjadi karena laju reaksi pada masing-masing *channel* adalah berbeda. *Channel* di pusat konverter memiliki laju reaksi paling besar sehingga konsentrasi reaktan cepat berkurang. Sebaliknya *channel* di bagian luar memiliki laju reaksi paling lambat karena temperatur paling rendah akibat *heat loss* ke lingkungan.



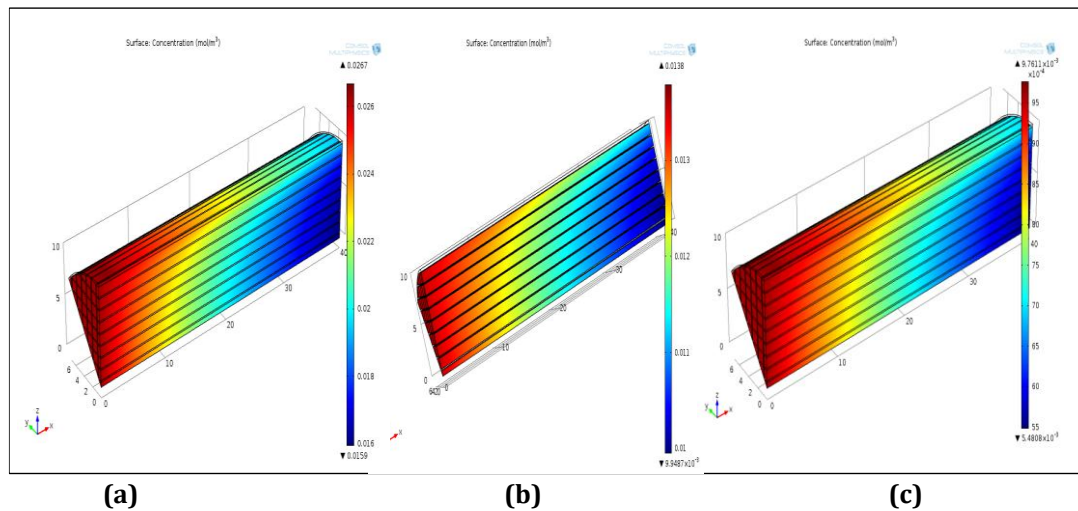
Gambar 4. Profil konsentrasi CO pada kondisi (a) *rich*, (b) stoikiometri, (c) *lean* pada temperatur input 675 K



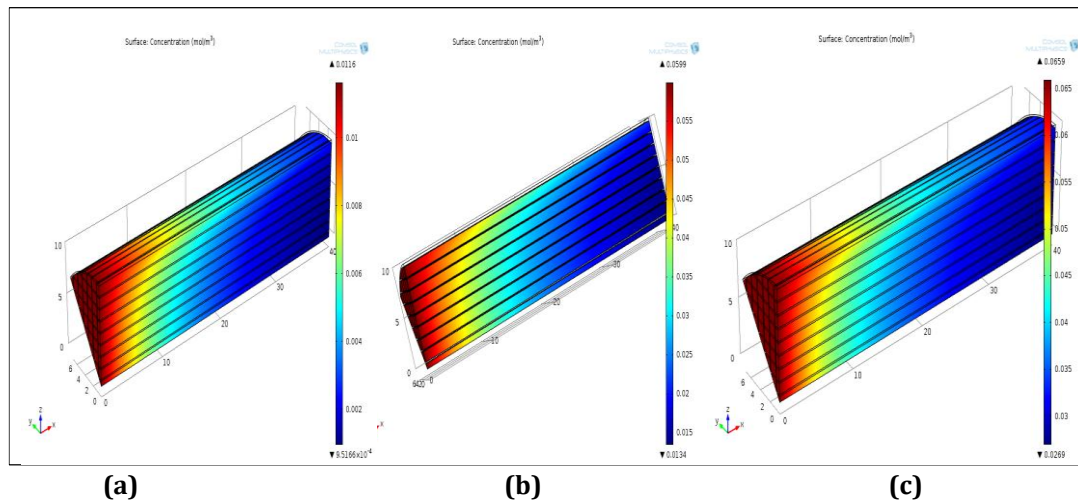
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 5. Profil Konsentrasi C_3H_6 pada kondisi (a) *rich*, (b) stoikiometri, (c) *lean* pada temperatur input 675 K



Gambar 6. Profil konsentrasi NO pada kondisi (a) *rich*, (b) stoikiometri, (c) *lean* pada temperatur input 675 K

Gambar 7 hingga Gambar 9 menampilkan konversi CO, C_3H_6 dan NO pada berbagai temperatur dan komposisi gas buang. Terlihat pada gambar - gambar tersebut bahwa konversi meningkat dengan naiknya temperatur. Untuk campuran *rich*, konversi NO pada temperatur 800 K hampir dua kali lipat konversi pada temperatur 600 K. Pada temperatur 800 K, konversi NO campuran *lean* adalah 66%, lebih rendah dari konversi campuran stoikiometri (90%) dan campuran *rich* (98%). Konversi NO paling tinggi terjadi pada campuran *rich*. Hal ini terjadi karena CO sebagai koreaktan bagi NO memiliki rasio paling tinggi pada campuran *rich*.

Keadaan sebaliknya terjadi pada konversi CO. Karbon monoksida paling banyak terkonversi pada campuran *lean*, yaitu 100% pada temperatur 800 K. Pada campuran stoikiometri dan *rich*, konversi CO pada temperatur 800 K masing - masing adalah 96% dan 90%. Kecenderungan seperti ini terjadi karena konsentrasi O_2 sebagai oksidator bagi CO pada campuran *lean* adalah berlebihan sehingga reaksi berlangsung sempurna. Pada campuran stoikiometri, rasio CO dan O_2 adalah stoikiometri, namun konversi tidak 100% karena tidak semua tumbukan antara molekul-molekul CO dan O_2 menghasilkan reaksi kimia. Pada campuran

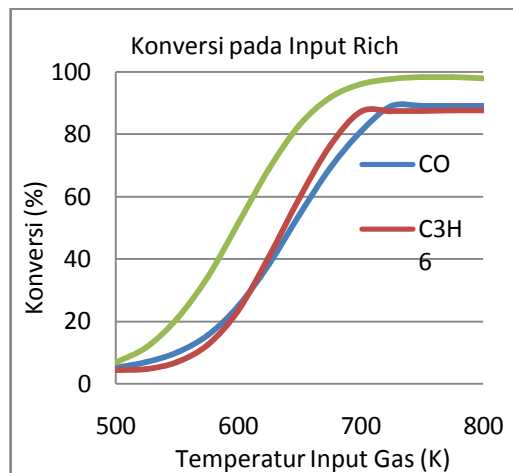


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

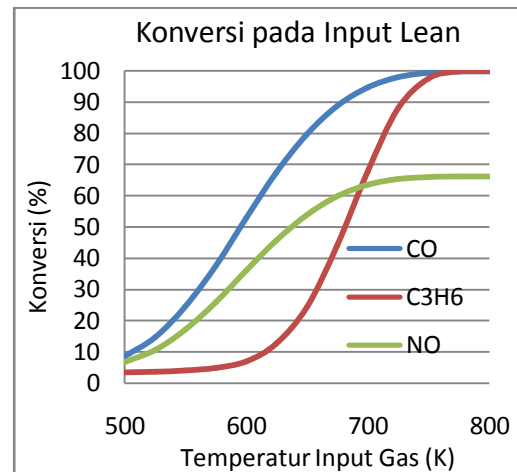
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

rich, CO kekurangan oksidator sehingga reaksi tidak sempurna.

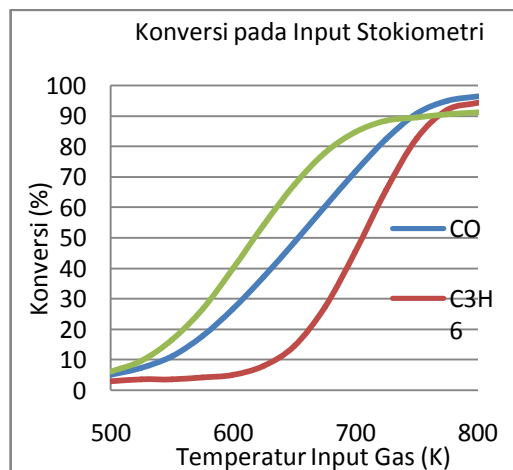


Gambar 7. Kurva konversi sebagai fungsi dari temperatur pada kondisi *rich*

molekul-molekul baru. Pada campuran *rich*, campuran kekurangan O₂ sehingga reaksi berlangsung tidak sempurna.



Gambar 9. Kurva konversi sebagai fungsi dari temperatur pada kondisi *lean*



Gambar 8. Kurva konversi sebagai fungsi dari temperatur pada kondisi stoikiometri

Konversi C₃H₆ pada campuran *lean* pada temperatur 800 K adalah 100%, kemudian turun menjadi 94% pada campuran stoikiometri, dan turun lagi menjadi 88% pada campuran *rich*. Kecenderungan seperti ini terjadi karena pada campuran *lean* konsentrasi O₂ berlebih. Oksidasi C₃H₆ berlangsung sempurna. Pada campuran stoikiometri, C₃H₆ dan O₂ berada dalam rasio stoikiometri. Meskipun demikian, tidak semua tumbukan yang terjadi antara molekul C₃H₆ dan O₂ menghasilkan pemutusan ikatan kedua jenis molekul tersebut dan menghasilkan

5. SIMPULAN DAN SARAN

Three-way catalytic converter utuh skala kecil telah dimodelkan pada penelitian ini. Hasil simulasi menunjukkan kecenderungan dan besaran angka konsentrasi dan konversi yang masuk akal. Agar model ini dapat digunakan untuk memprediksi fenomena yang terjadi di dalam *three-way catalytic converter*, model harus divalidasi,

6. DAFTAR PUSTAKA

- Hayes, R.E., Fadic, A., Mmbaga, J. Najafi, A., CFD modelling of the automotive catalytic converter in *Catalysis Today*, 2012, 188, 94– 105.
- Kumar, A., Mazumder, S., Toward simulation of full-scale monolithic catalytic converters with complex heterogeneous chemistry in *Computers and Chemical Engineering*, 2010, 34, 135–145.
- Subramanian, B., Varma, A., Reaction kinetics on a commercial three-way catalyst: the CO-NO-O₂-H₂O system in *Industrial and engineering chemistry. Product research development*, 1985, 24, 512-516.
- Tischer, S., Correa, C., Deutschmann, O., Transient three-dimensional simulations of a catalytic combustion monolith using

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

detailed models for heterogeneous and homogeneous reactions and transport phenomena in *Catalysis Today*, 2001, 69, 57-62.

United State Environmental Protection Agency (EPA), *The 2002 National Emission Inventory*, 2006.

Voltz, S.E., Morgan, C.R., Liederman, D., Jacob, S.M., *Kinetic study of carbon monoxide and propylene oxidation on platinum catalysts in Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development*, 1973, 12 (4), 294



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

EVALUASI PEMBENTUKAN AGEN PENGOKSIDASI PADA PROSES KAVITASI HIDRODINAMIKA MENGGUNAKAN WATER-JET

Eva Fathul Karamah^{1*}, Dipo Aji Santiko

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus Baru UI- Depok 16424, Telp/Fax: (021)7863516

*Email : eva@che.ui.ac.id

Abstrak

Kavitasi hidrodinamik merupakan salah satu alternatif metode oksidasi lanjut yang mampu menghasilkan agen pengoksidasi secara bersih, ramah lingkungan dan hemat energi serta mampu diterapkan pada skala masif, sehingga dapat menjadi alternatif pemecahan masalah yang ada pada teknologi pengolahan air secara konvensional. Penelitian ini mengevaluasi jumlah agen pengoksidasi (dalam bentuk radikal OH dan atau H₂O₂) yang dihasilkan pada proses kavitasi hidrodinamika menggunakan *water jet* dengan berbagai diameter *discharge* dan laju alir. Larutan KI 2% digunakan sebagai larutan utama yang dioksidasi untuk menghasilkan iodine sebagai indikator terbentuknya agen pengoksidasi. Jumlah iodine yang terbentuk dianalisis melalui metode analisis titrasi iodometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil diameter *discharge*, efektifitas pembentukan agen pengoksidasi semakin meningkat. Water jet dengan diameter 4 mm menghasilkan agen pengoksidasi sebesar 7,188 x 10⁻⁵ mol/L, diameter 5 mm menghasilkan 6,563 x 10⁻⁵ mol/L, dan diameter 6 mm menghasilkan 5,000 x 10⁻⁵ mol/L. Semakin besar laju alir maka *cavitation number* semakin kecil sehingga proses kavitasi semakin efisien dan pembentukan agen pengoksidasi semakin optimum.

Kata kunci : agen pengoksidasi, kavitasi hidrodinamika, oksidasi lanjut, radikal OH, *water jet*

Abstract

Hydrodynamic cavitation is an alternative method of advanced oxidation that is capable of producing oxidation agent in an environmentally friendly and energy - efficient way. It is able to be applied on a massive scale, so it can be alternative solutions to problems that exist in conventional water treatment technologies. This study evaluates the amount of oxidizing agent (in the form of OH radicals or H₂O₂) that is generated in the process of hydro dynamic cavitation using a water jet with a range of discharge diameter and flow rate. A 2% KI solution was used as the primary solution which was oxidized to produce iodine as an indicator of the formation of oxidizing agent. The amount of iodine formed was analyzed by iodometric titration method. The results showed that the smaller the diameter of the discharge, the effectiveness of the formation of oxidizing agent was increased. Water jet with a diameter of 4 mm resulted 7.188x10⁻⁵ mol/L oxidizing agent, diameter of 5mm produced 6.563x10⁻⁵ mol/L, and diameter of 6 mm produced 5,000x10⁻⁵ mol/L. The greater the flow rate, the smaller the cavitation number so that the cavitation process become more efficient and the formation of the oxidizing agent become more optimum.

Keywords : oxidizing agent, hydrodynamic cavitation, advanced oxidation, OH radical, *water jet*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

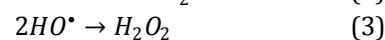
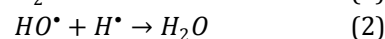
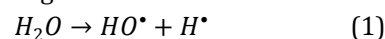
Pencemaran limbah organik B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) hasil industri dan limbah rumah tangga menjadi salah satu penyebab berkurangnya jumlah ketersediaan air bersih. Untuk menghilangkan atau mengurangi resiko yang dapat ditimbulkan dari limbah B3 yang dihasilkan maka limbah B3 yang terbentuk perlu dikelola secara khusus sebelum dilepas ke lingkungan ([Kepres No.61 Tahun 1993](#)). Degradasi senyawa organik banyak dilakukan dengan metode konvensional yakni dengan menggunakan proses biologis seperti Trickle Filter (Heriyani, 2008), *Bacterial Consortium* (Wulan, et.al., 2006), dengan proses fisik seperti filtrasi dan *Reverse Osmosis* serta dengan kimiawi yakni dengan *Ion Exchange*. Metode-metode ini memiliki beberapa kelemahan di antaranya masih membutuhkan beberapa tahapan proses yang tidak efisien, penggunaan bahan kimia berbahaya, serta menghasilkan residu yang justru membahayakan kesehatan.

Hingga saat ini proses oksidasi lanjut atau *Advance Oxidation Process* (AOPs) merupakan salah satu alternatif yang mampu mendegradasi senyawa organik yang memiliki toksisitas tinggi. Proses Oksidasi lanjut (AOPs) didefinisikan sebagai oksidasi fasa larutan dengan berbasis pada prinsip pembentukan dan pemanfaatan radikal hidroksil ($\cdot OH$) sebagai oksidator utama untuk mendegradasi senyawa pencemar. AOPs dapat dilakukan dalam beberapa metode yakni dengan oksidasi yang berbasis ozon (O_3 , $O_3 + UV$ dan $O_3 + katalis$), berbasis H_2O_2 ($H_2O_2 + UV$, *Fenton*, *photo-Fenton* dan proses *Fenton* lainnya), fotolisis (UV), dan fotokatalisis (Pera-Titus, et.al., 2004).

Kavitasi hidrodinamika merupakan salah satu alternatif metode oksidasi lanjut yang mampu menghasilkan agen pengoksidasi secara bersih, ramah lingkungan dan hemat energi serta mampu diterapkan pada skala masif, sehingga masalah yang ada pada teknologi pengolahan air secara konvensional

dapat teratasi. Kavitasi merupakan fenomena terjadinya pertumbuhan, pembentukan, dan pecahnya gelembung-gelembung berukuran mikro dalam fasa cairan (Kumar, et.al., 2000). Kavitasi hidrodinamika terjadi karena adanya perubahan bentuk geometri dari aliran, sehingga menyebabkan variasi tekanan pada fluida yang mengalir. Pada kavitasi hidrodinamika penghancuran polutan dalam kavitasi hidrodinamik mirip seperti kavitasi ultrasonik, yang melibatkan efek termal berupa proses pirolisis pada temperatur tinggi karena hancurnya gelembung mikro, ataupun melalui efek kimiawi berupa dekomposisi uap air menjadi radikal hidroksil (OH).

Selama proses hancurnya gelembung mikro dalam air, molekul gas dari air yang terjebak di dalam gelembung akan mengalami reaksi pirolisis yang menghasilkan radikal yang sangat reaktif seperti radikal OH, melalui reaksi sebagai berikut:



Alat yang paling umum digunakan pada kavitasi hidrodinamika adalah injektor venturi dan *orifice plate*. *Water-jet* merupakan salah satu jenis pembangkit kavitasi hidrodinamika berbasis injektor venturi, dengan karakteristik khusus dimana tekanan discharge adalah tekanan lingkungan.

Untuk menentukan jumlah agen pengoksidasi yang terbentuk pada proses kavitasi hidrodinamika, larutan KI 2% digunakan sebagai larutan utama sistem oksidasi lanjut. Iodine yang dilepaskan menjadi indikasi terbentuknya agen pengoksidasi. Karena waktu tinggal yang sangat singkat dan kecenderungan terekombinasinya agen pengoksidasi, maka jumlah agen pengoksidasi direpresentasikan oleh iodine yang terbentuk (Kumar, et.al., 2000; Vichare, et.al., 2000).

Agen pengoksidasi yang terbentuk akan sebanding dengan jumlah iodine yang

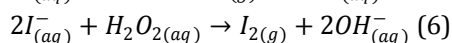
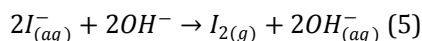


Seminar Nasional Intergrasi Proses

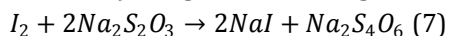
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

terlepaskan sesuai dengan persamaan berikut:



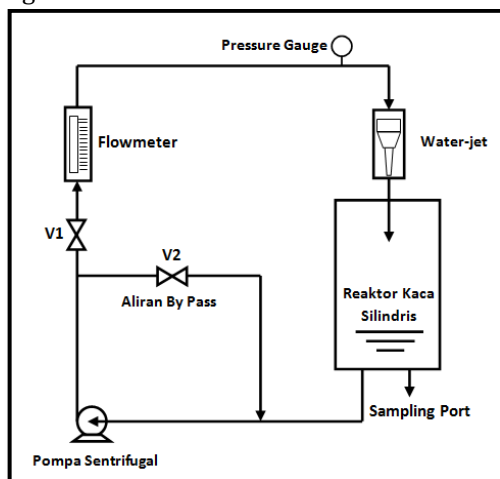
Reaksi pembebasan iodine dengan mentrifikasi menggunakan Natrium Thiosulfat ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), dengan reaksi sebagai berikut:



Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengkaji signifikansi pembentukan agen pengoksidasi pada proses kavitasi hidrodinamika dengan *Water-Jet* dalam membentuk agen pengoksidasi (radikal hidroksil ($OH\cdot$) dan/atau H_2O_2). Sedangkan tujuan operasional penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perubahan diameter *discharge* injektor dan laju alir sirkulasi sistem terhadap jumlah agen pengoksidasi yang terbentuk. Tujuan lain adalah menganalisis pengaruh jenis bahan injektor yang digunakan terhadap proses pembentukan agen pengoksidasi. Jumlah agen pengoksidasi direpresentasikan melalui jumlah iodine yang terbentuk pada metode analisis iodometri.

2. METODE PENELITIAN

Proses kavitasi hidrodinamika berlangsung di dalam rangkaian alat seperti digambarkan dalam skema berikut ini:



Gambar 1. Skema peralatan proses oksidasi lanjut *Water-jet hydrodynamic cavitation*

Larutan KI 2% digunakan sebagai larutan induk sistem, karena larutan KI sangat mudah

terdekomposisi dan tidak berwarna sehingga memudahkan dalam pemantauan fisis seperti perubahan warna. Larutan induk dipompakan menggunakan pompa sentrifugal menuju aliran utama dengan laju alir maksimum dan menutup aliran *by-pass*. Larutan ini mengalir melewati injektor *water-jet*, dengan perbedaan tekanan pada bagian suction dan discharge injektor, yang menyebabkan tekanan sistem lebih kecil dibandingkan dengan tekanan uap pelarut sehingga timbul gelembung kavitasi. Sistem akan tersirkulasi kembali melalui pompa dan akan keluar kembali melalui bagian discharge injektor, dan fenomena kavitasi serta pembentukan agen pengoksidasi akan terulang seperti siklus sebelumnya.

Volume larutan efektif sebesar 2,5 liter dan disirkulasikan menggunakan pompa sentrifugal dengan kapasitas laju alir maksimal (Q) sebesar 40 liter/menit. Diameter discharge injektor *water-jet* divariasikan sebesar 4, 5, dan 6 mm. Dengan bahan injektor yang digunakan yakni Kuningan dan *Stainless Steel* (SS-316). Mekanisme tersebut terus berlangsung selama 40 menit oksidasi, dengan 5 kali pengambilan sampel yakni pada menit 0, 10, 20, 30, dan 40 menit. Seluruh sampel diambil sebanyak 20 mL dan tidak dikembalikan lagi ke dalam sistem karena akan dilakukan analisis untuk mengukur jumlah iodine (I_2) yang terlepas.

Larutan sampel yang telah diambil melalui *sampling port* akan dianalisis menggunakan metode titrasi iodometri. Sebelum analisis dilakukan, pH larutan sampel diukur terlebih dahulu untuk mengetahui indikasi awal terbentuknya agen pengoksidasi. Sampel ditambahkan dengan 10 mL larutan H_2SO_4 2M, selanjutnya ditambahkan dengan 3 tetes indikator amilum 1% hingga larutan berubah warna menjadi biru, kemudian sampel dititrasi dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,00125 N hingga sampel berubah warna menjadi bening. Data volume larutan $Na_2S_2O_3$ yang dibutuhkan akan digunakan untuk menghitung jumlah mol



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

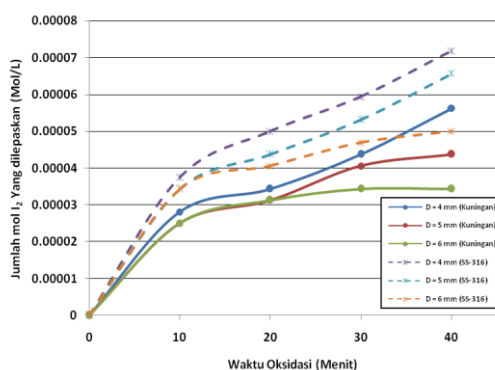
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

iodine (I_2) yang terlepas. Jumlah iodine yang terlepas akan sebanding dengan agen pengoksidasi yang terbentuk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh diameter discharge injektor

Pada bagian ini, variabel proses yang tetap yakni tekanan sistem, laju alir, dan volume larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agen pengoksidasi yang terbentuk semakin meningkat pada penggunaan diameter discharge injektor yang semakin kecil, dengan direpresentasikan melalui kenaikan jumlah iodine yang terlepas. Jenis bahan Stainless Steel (SS-316) lebih optimum dibandingkan dengan jenis bahan kuningan.



Gambar 2. Pengaruh diameter discharge dan jenis bahan terhadap jumlah mol Iodine (I_2) yang dilepaskan pada injektor berbahan Stainless Steel (SS-316) dan kuningan dengan diameter discharge 4, 5, dan 6 mm

Gambar 2 memperlihatkan pembentukan agen pengoksidasi memiliki kecenderungan yang meningkat dan mencapai nilai maksimum setelah waktu tertentu. Kecenderungan nilai maksimum lebih cepat diperoleh pada diameter discharge sebesar 6 mm, sedangkan pada diameter 4 mm dan 5 mm masih mengalami peningkatan. Berdasarkan kedua kurva tersebut terlihat bahwa pembentukan agen pengoksidasi dengan menggunakan injektor berbahan Stainless Steel (SS-316) lebih signifikan dibandingkan dengan kuningan. Hal ini

disebabkan karena agen pengoksidasi hanya mengoksidasi larutan KI dan tidak mengoksidasi injektor itu sendiri.

Berdasarkan kurva yang dihasilkan terlihat bahwa seluruh diameter yang digunakan memiliki kecenderungan peningkatan jumlah pelepasan gas iodine yang terbentuk sebagai hasil oksidasi. Hal tersebut terjadi akibat aktivitas pecahnya gelembung kavitas karena besarnya energi yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada studi numerik kavitas. Pecahnya gelembung kavitas berlangsung secara berkesinambungan (intensif), dimana proses kavitas terus berlangsung secara terus-menerus dan menghasilkan agen pengoksidasi. Semakin besar diameter discharge water-jet, maka tekanan pada fluida sistem semakin besar, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sehingga aktivitas pembentukan agen pengoksidasi semakin kecil. Sehingga pembentukan agen pengoksidasi pada proses kavitas hidrodinamika proses dapat berjalan lebih efektif dengan menggunakan injektor dengan diameter lubang discharge yang kecil.

3.2 Peningkatan pH larutan Sistem

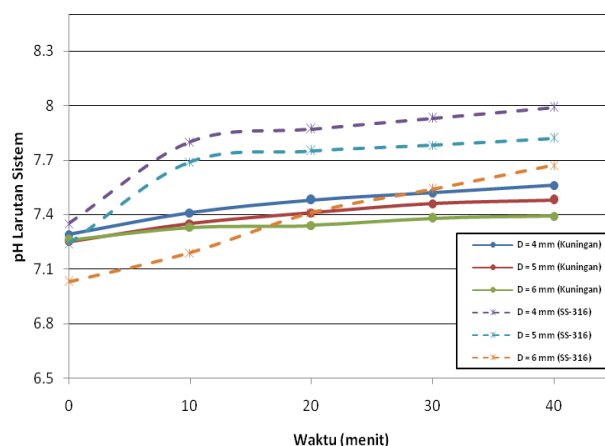
Pada penelitian ini perubahan pH dievaluasi dengan tujuan untuk memprediksi serta mengetahui kecenderungan penyebab terjadinya reaksi oksidasi oleh agen oksidator yang diharapkan. Pada kavitas hidrodinamika, evaluasi pembentukan gas Iodine (I_2) sebagai hasil oksidasi larutan KI oleh agen pengoksidasi akan menghasilkan senyawa lain selain gas I_2 , yakni senyawa yang bersifat basa, sesuai dengan persamaan (10) dan (11). Produk senyawa yang bersifat basa, menyebabkan kecenderungan peningkatan derajat keasaman (pH). Sama halnya pada penelitian ini, berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh perubahan (pH) cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu oksidasi yang berlangsung.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 3. Perubahan pH larutan sistem sepanjang proses oksidasi pada injektor berbahan Stainless Steel (SS-316) dan Kuningan dengan diameter discharge 4, 5, dan 6 mm

Gambar 3 memperlihatkan bahwa seluruh data mencerminkan kecenderungan peningkatan pH larutan KI pada sistem sirkulasi seiring bertambahnya waktu oksidasi melalui metode kavitasi hidrodinamika menggunakan injektor *water-jet*. Pada kedua kurva diatas terlihat secara jelas bahwa peningkatan pH secara signifikan

terjadi pada hampir masing-masing ukuran diameter, hanya saja pada diameter yang terkecil yakni dengan diameter sebesar 4 mm memiliki peningkatan pH yang tinggi dibandingkan dengan diameter lainnya. Hal tersebut ditunjukkan pada tabel di bawah ini yang menunjukkan selisih pH untuk masing-masing diameter.

Tabel 1. Selisih nilai pH larutan sistem pada masing-masing diameter discharge pada injektor berbahan kuningan

Waktu (menit)	Selisih nilai pH Larutan Sistem		
	Diameter 4 mm	Diameter 5 mm	Diameter 6 mm
0	0	0	0
10	0.12	0.1	0.07
20	0.07	0.06	0.01
30	0.04	0.05	0.04
40	0.04	0.02	0.01

Tabel 2. Selisih nilai pH larutan sistem pada masing-masing diameter discharge pada injektor berbahan Stainless Steel (SS-316)

Waktu (menit)	Selisih pH		
	Diameter 4 mm	Diameter 5 mm	Diameter 6 mm
0	0	0	0
10	0.45	0.45	0.16
20	0.07	0.06	0.22
30	0.06	0.03	0.13
40	0.06	0.04	0.13

Kedua tabel tersebut menunjukkan bahwa selisih peningkatan pH larutan dari 10 menit awal hingga 10 menit selanjutnya mengalami penurunan pada masing-masing diameter. Pada injektor berbahan *stainless steel* memiliki selisih peningkatan yang lebih besar

dibandingkan dengan kuningan, karena agen pengoksidasi yang terbentuk tidak bereaksi dengan logam pada *stainless steel*. Pada diameter injektor dengan diameter lubang discharge 4 mm memiliki peningkatan yang paling signifikan dibandingkan dengan

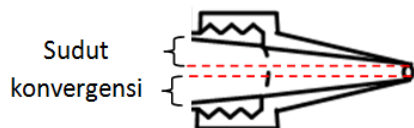


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

diameter 5 mm dan 6 mm, hal ini disebabkan oleh geometri aliran yang dihasilkan pada aliran. Pada diameter discharge 4 mm, konvergensi injektor yang sangat besar (Gambar 4) yang menyebabkan pemisahan pada *boundary layer* dan akan membentuk aliran eddy serta resirkulasi yang berbalik arah menyebabkan *shock wave* pada sistem.



Gambar 4. Sudut konvergensi injektor *water-jet*

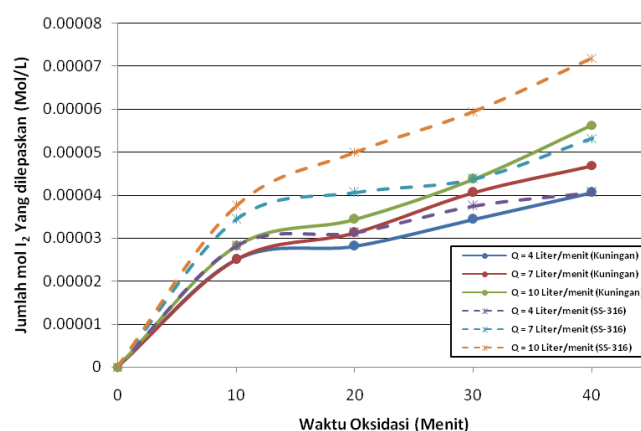
Akibatnya terjadi peningkatan tekanan yang hilang yang menyebabkan *discharge pressure* berkurang secara proporsional. Dengan demikian maka tekanan fluida sistem lebih kecil dibandingkan dengan diameter lainnya. Sehingga pembentukan gelembung-gelembung mikron semakin banyak pada diameter yang kecil. Dengan semakin banyak gelembung mikron yang terbentuk dan pecah, maka semakin besar energi yang dihasilkan untuk mendekomposisi air dan menghasilkan agen oksidator.

Hal yang sebaliknya terjadi pada diameter discharge yang lebih besar, dengan semakin besarnya diameter discharge maka konvergensi injektor semakin kecil menyebabkan kecenderungan pemisahan *boundary layer* dan aliran eddy semakin kecil

yang menyebabkan perbedaan tekanan antara tekanan fluida dan tekanan *discharge* semakin kecil dan pembentukan gelembung lebih sedikit dibandingkan dengan diameter yang paling kecil. Hanya saja pada diameter yang terlalu kecil akan menyebabkan penurunan percepatan aliran semakin besar yang menyebabkan kecepatan aliran lebih kecil karena tekanan tahanan semakin besar. Hal tersebut terjadi akibat pemulihan penurunan tekanan sistem (*pressure recovery*) ke tekanan semula semakin lambat.

Perbedaan mendasar yang terlihat pada kurva Gambar 3 adalah nilai pH akhir larutan sistem yang dicapai. Pada injektor yang berbahan kuningan pH akhir lebih kecil dibandingkan dengan pH akhir dari injektor yang berbahan Stainless Steel (SS-316). Hal ini terjadi karena injektor yang berbahan kuningan teroksidasi oleh agen pengoksidasi yang terbentuk pada saat proses oksidasi lanjut berlangsung. Kuningan tersebut terbukti teroksidasi karena terjadi perubahan warna dan fisik pada permukaan dalam dan sedikit permukaan luar bagian ujung lubang discharge injektor. Perubahan warna yang terjadi sama halnya pada perubahan warna permukaan pada logam besi yang mengalami oksidasi, yakni berwarna kuning kecoklatan (seperti karat pada logam besi).

3.3 Pengaruh laju alir sirkulasi



Gambar 5. Pengaruh laju alir sirkulasi terhadap jumlah pelepasan Iodine (I_2) pada injektor berbahan Stainless Steel (SS-316) dan Kuningan dengan diameter injektor 4 mm



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pengaruh laju alir sirkulasi terhadap jumlah agen pengoksidasi yang dilepaskan diperlihatkan pada Gambar 5. Kurva pada gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan pembentukan agen pengoksidasi yang direpresentasikan melalui pelepasan iodine yang terbentuk sebanding dengan peningkatan laju alir sirkulasi sistem. Hal tersebut disebabkan karena tekanan pada sistem dipengaruhi oleh laju alir sirkulasi. Dengan semakin besarnya laju sirkulasi sistem, maka tekanan sistem semakin besar. Akibatnya yakni tekanan fluida sistem lebih besar dibandingkan tekanan uapnya sehingga proses pembentukan gelembung kavitasi semakin optimum seiring dengan peningkatan tekanan fluida sistem.

Dengan meningkatnya tekanan fluida sistem menyebabkan efek *degassing* pada sistem, yakni efek dimana adanya udara yang terlarut dalam larutan seiring dengan bertambahnya tekanan pada fluida tersebut (Pandit, 2000). Dengan demikian maka tekanan sistem semakin besar, dan perbedaan tekanan fluida dengan tekanan uap air semakin besar yang menyebabkan pembentukan gelembung-gelembung kavitasi semakin besar. Hal tersebut yang mendorong pembentukan agen pengoksidasi semakin optimal pada diameter yang lebih kecil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Proses oksidasi lanjut melalui *water-jet hydrodynamic cavitation* mampu untuk menghasilkan agen pengoksidasi.

Pembentukan agen pengoksidasi yang paling optimum dihasilkan pada diameter *discharge* injektor yang paling kecil yakni 4 mm dengan laju alir maksimum yang dapat dicapai yakni 10 Liter/menit.

Konsentrasi agen pengoksidasi maksimum yang dihasilkan dengan diameter *discharge* sebesar 4 mm berbahan kuningan yakni sebesar $5,625 \times 10^{-5}$, sementara untuk injektor berbahan stainless steel (SS-316) yakni sebesar $7,188 \times 10^{-5}$ mol/L.

Total kumulatif agen pengoksidasi yang dihasilkan selama 40 menit oksidasi dengan menggunakan konsumsi daya total sebesar 200 watt dan diameter lubang *discharge* injektor sebesar 4 mm berbahan kuningan yakni sebesar $1,625 \times 10^{-4}$ mol/L, sedangkan untuk injektor berbahan stainless steel (SS-316) yakni sebesar $2,187 \times 10^{-4}$ mol/L.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan atas bantuan dana dari DP2M Dikti melalui Hibah Riset Madya Universitas Indonesia 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiastuti, Heriyani (2008). "Pengolahan Limbah Deterjen Sintetik Dengan Trickle Filter". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Kumar, [P Senthil](#), [M Siva Kumar](#), [A.B Pandit](#). (2000) "Experimental quantification of chemical effects of hydrodynamic cavitation", Chem. Eng.Sci., 55, 1633-1639.
- Marc Pera-Titus, Verónica García-Molina, Miguel A. Baños, Jaime Giménez, Santiago Esplugas. (2004). "Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review." Applied Catalysis B : Environmental, 4: 219-256.
- Vichare, N. P., P. R. Gogate and A. B. Pandit. (2000), "Optimization of hydrodynamic cavitation using a model reaction", Chem. Eng. Technol., 23(8), 683-690.
- Wulan, PPK, M Gozan, Anondho W., Dianursanti, Mahmud S. (2006). Biodegradation of Linier Alkylbenzene Sulfonate by Bacterial Consortium. Proceeding of 1st International Conference on Natural Resources Engineering & Technology 2006, 24-25th July 2006.



PENGARUH GEOMETRIK SELUBUNG, TEGANGAN DAN KEDALAMAN ANODA PADA PROSES PRODUKSI GAS KLOOR MENGGUNAKAN METODE ELEKTROLISIS PLASMA

Nelson Saksono¹, Dimas Riska Irawan, Setijo Bismo

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok
Kampus Baru UI- Depok 16424, Telp/Fax: (021)7863516

*Email : nelson@che.ui.ac.id

Abstrak

Industri klor-alkali merupakan salah satu industri penting yang menghasilkan gas klor dan soda api dari bahan baku NaCl dan air. Penelitian ini telah berhasil melakukan pengujian pengaruh geometrik selubung, Konsentrasi NaCl, tegangan, dan kedalaman anoda pada proses produksi gas klor dengan metode elektrolisis plasma. Konsumsi energi terendah didapat pada selubung panjang sebesar 27,98 kJ.mmol. Produksi gas klor tertinggi dan konsumsi energi terendah masing-masing sebesar 26,22 mmol dan 27,06 kJ/mmol yang dicapai pada tegangan 700V, 1 M NaCl dan kedalaman anoda sebesar 1 cm menggunakan selubung panjang. Sementara pada konsentrasi 0,5M NaCl, produksi gas klor tertinggi sebesar 21,09 mmol dan konsumsi energinya sebesar 28 kJ/mmol pada kedalaman anoda 2 cm. Produksi gas klor dengan proses elektrolisis plasma mencapai hingga 2,77 kali lebih tinggi dibandingkan dengan perhitungan elektrolisis Faraday dan 16,59 kali lebih tinggi dibanding proses elektrolisis pada tingkat konsumsi energi yang sama.

Kata Kunci:Chlor-Alkali, Elektrolisis Plasma, Konsumsi Energi

Abstract

Chlorine-alkali industry is one of the most important industries for production of chlorine and caustic soda from NaCl and water. This research has succeeded to investigate the effect of veil geometric, NaCl concentration, voltage, and the depth of anode in the process of chlorine production by using plasma electrolysis method. The lowest energy consumption is obtained for the long veil at 27,98 kJ.mmol. The highest chlorine production and the lowest energy consumption is 26,22 mmol and 27,06 kJ/mmol, respectively, which were achieved at the voltage of 700 V, 1 M NaCl, and 1 cm depth of anode by using the long veil. With 0,5 M NaCl, the highest chlorine production is 21,09 mmol, and the highest energy consumption is 28 kJ/mmol with the depth of anode at 2 cm. Chlorine production with the process of plasma electrolysis is 2,77 times higher than the one obtained with the calculation of Faraday electrolysis. It is 16,59 times higher than electrolysis process at the same rate of energy consumption.

Keywords:Chlor-Alkali, Plasma Electrolysis, Energy Consumption

1. Pendahuluan

Sektor industri klor-alkali merupakan salah satu sektor industri penting dalam industri kimia yang menghasilkan produk-produk seperti klor, hidrogen, soda api (*caustic soda*, NaOH), hipoklorit, serta turunan klor lainnya dari bahan baku NaCl dan air (Abdel Al, 2010; Bommaraju., 2011). Namun sektor produksi klor-alkali memiliki suatu permasalahan besar, yaitu merupakan pengguna listrik terbanyak yang tidak dapat

tergantikan dan merepresentasikan 70% dari harga penjualan (Santorelli, 2009). Salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk mengurangi konsumsi energi produksi klor-alkali adalah dengan menggunakan teknologi elektrolisis plasma (Saksono, 2010). Teknologi ini terbukti mampu meningkatkan efektivitas produksi klor-alkali serta mampu mengurangi konsumsi energi dibandingkan metode elektrolisis (Saksono, 2013).



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

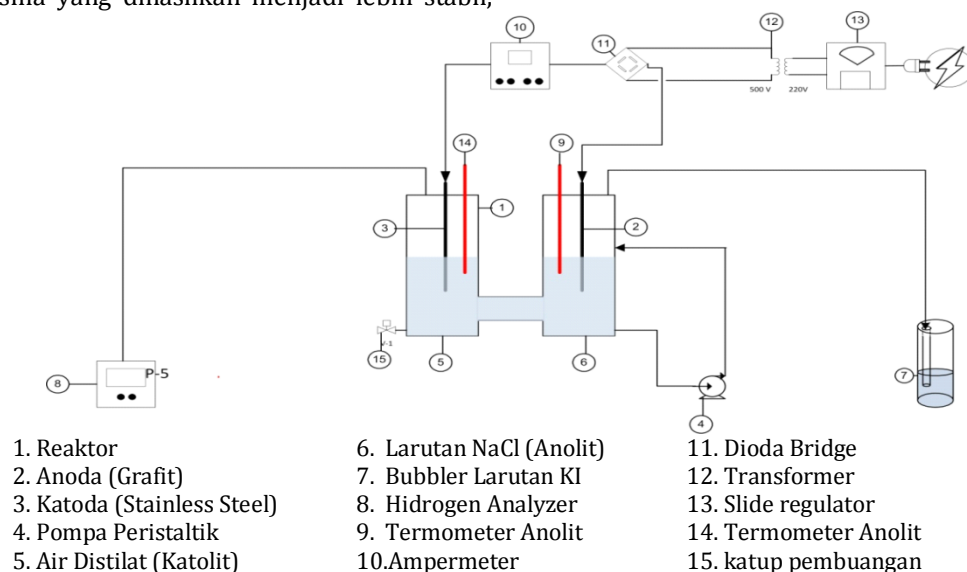
Produksi klor-alkali dengan menggunakan metode elektrolisis plasma telah berhasil dilakukan dengan menggunakan reaktor kompartemen tunggal dan ganda (Saksono, 2013). Pada penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa produksi gas klor mencapai dua kali lebih banyak dibandingkan dengan reaktor tunggal. Selain itu, semakin dalam anoda menyebabkan produksi gas klor semakin banyak karena mempengaruhi banyaknya selubung uap yang terbentuk dipermukaan anoda. Semakin luas area anoda yang terselubungi, semakin besar plasma yang terbentuk (Jin, 2010). Hal ini meningkatkan jumlah radikal yang terbentuk, sehingga produksi gas klor akan bertambah banyak (Saksono, 2013).

Pada penelitian ini telah berhasil diteliti lebih jauh mengenai pengaruh geometrik penggunaan selubung yang mengelilingi anoda dan peningkatan suhu larutan terhadap pembentukan gas klor. Anoda yang dikelilingi oleh selubung membuat proses pembentukan plasma menjadi lebih cepat karena efek pemanasan Joule yang dibutuhkan untuk membentuk plasma semakin efektif dan plasma yang dihasilkan menjadi lebih stabil,

sehingga produk gas klor yang dihasilkan semakin banyak (Abqari, 2013). Adapun proses elektrolisis akan lebih efisien seiring dengan bertambahnya suhu (Nikolic, 2010). Selain itu, konduktivitas ion dan reaksi permukaan elektrolit akan meningkat secara signifikan dengan kenaikan suhu (Udagawa, 2007). Semakin besar konduktivitas larutan maka radikal yang terbentuk pun semakin besar, sehingga produk yang dihasilkan akan lebih baik (Gao, 2008). Penelitian ini juga telah berhasil menguji kinerja proses elektrolisis plasma pada tegangan dan konsentrasi larutan yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya (Saksono, 2013). Hal ini dilakukan karena tegangan dan konsentrasi yang tinggi diduga dapat meningkatkan produksi gas klor dan menekan konsumsi energi pada proses elektrolisis plasma.

2. Percobaan

Desain reaktor pada Gambar 1 terdiri atas dua kompartemen dengan *stainless steel* sebagai katoda yang juga berfungsi sebagai pendingin larutan dan grafit sebagai anoda.



Gambar 1. Konfigurasi Alat Elektrolisis Plasma produksi klor dengan kompartemen ganda

Permukaan katoda yang tercelup dalam larutan harus lebih luas daripada anoda agar plasma dapat terbentuk di anoda (Sengupta, 1994). Reaktor dengan sistem *semi-batch* ini terbuat dari *housing filter* akrilik yang dihubungkan dengan *water murr* dengan jarak 5 cm. Pada kompartemen sisi anoda diberikan lubang untuk sirkulasi internal.

Sumber listrik dihubungkan dengan *slide regulator* 3-kVA dan bagian keluarannya dihubungkan ke transformer *step up*. Jembatan diode digunakan untuk mengubah arus AC ke DC. Arus listrik yang terbentuk diukur dengan amperemeter Yuhua A830L. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan konsumsi energi dan produksi gas klor nya



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

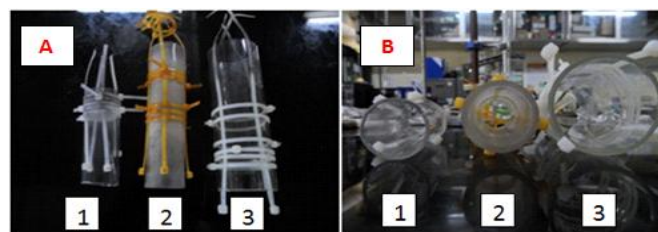
pada konsentrasi 0,5M – 1M dengan tegangan 200V – 900V. Senyawa yang keluar dari kompartemen anoda berupa gas klor dan uap air melainkan ada sejumlah kondensat dari hasil reaksi antara gas klor dengan uap air yang keluar bersamaan dengan gas klor. Kondensat ini kemudian diukur volume dan nilai pH-nya dengan menggunakan pH meter. Gas klor yang keluar dari kondenser diukur laju alir volumenya dengan flowmeter buble soap, sementara konsentrasinya diukur dengan metode Titrasi Iodometri dimana gas Klor di kontakkan dengan larutan KI 2% volume. KI yang berikatan dengan gas klor

berubah warna menjadi oranye kekuningan lalu larutan dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 M.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Penggunaan Selubung pada Anoda

Selubung merupakan suatu media yang dipasang mengelilingi anoda untuk membuat proses pembentukan selubung gas akibat efek pemanasan Joule di sekitar anoda menjadi lebih intensif. Gambar 1 menunjukkan penampakan berbagai jenis selubung yang digunakan dalam penelitian ini sementara Tabel 1 memberikan dimensi geometrik dari selubung yang digunakan



Gambar 1. Selubung pendek (1), Selubung panjang (2) dan selubung besar (3) dimana: A. Dilihat dari samping dan B dilihat dari sisi bawah

Tabel 1. Dimensi geometrik Selubung Anoda yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Penggunaan Selubung	L (cm)	D (cm)	Skema Selubung
1.	Tanpa Selubung	0	0	
2.	Panjang	15	3	
3.	Pendek	10	3	
4.	Besar	15	5	

Tabel 2 menunjukkan semakin panjang dan semakin besar diameter selubung yang digunakan, semakin banyak gas klor yang diproduksi, sedangkan energi yang dikonsumsi cenderung menurun kecuali pada selubung besar.

Saat penelitian dilakukan tanpa menggunakan selubung, kondisi plasma sulit terbentuk, tidak stabil, dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga produksi gas klor hanya mencapai 6,96 mmol dengan konsumsi energi sebesar 95,88 kJ/mmol. Hal ini

disebabkan oleh tidak intensifnya efek pemanasan Joule disekitar anoda karena zona larutan yang dipanasi sangat luas, sehingga kondisi plasma menjadi sulit terbentuk dengan rata-rata arus listrik sebesar 1,06A. ketika digunakan selubung pendek, walaupun pembentukan plasma menjadi lebih mudah dan produksi gas klor meningkat menjadi 7,23 mmol, akan tetapi plasma masih belum stabil, sehingga penurunan konsumsi energi tidak terlalu signifikan, yaitu sebesar 73,44 kJ/mmol.

Tabel 2. Konsumsi energi pada berbagai geometrik selubung anoda untuk 0,5 M NaCl dan 700 V pada kedalaman anoda 1 cm

Selubung Anoda*	Produksi Gas Klor (mmol)	Arus Rata-Rata (A)	Daya Listrik (kJ)	Konsumsi Energi (kJ/mmol)
Tanpa	6,96	1,06	667,33	95,88
Pendek	7,23	0,84	530,99	73,44
Panjang	10,74	0,48	300,54	27,98
Besar	11,19	1,28	803,59	71,81



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pada selubung panjang, plasma menjadi lebih mudah terbentuk, tidak membutuhkan waktu yang lama, dan relatif stabil, sehingga produksi gas klor semakin meningkat menjadi 10,74 mmol dan konsumsi energi turun secara signifikan menjadi 27,98 kJ/mmol dengan rata-rata arus listrik sebesar 0,48A. Adapun ketika selubung besar digunakan, produksi gas klor memang meningkat menjadi 11,19 mmol namun kondisi plasma lebih lama tercapai dan plasma yang terbentuk kurang stabil karena zona larutan yang harus dipanasi menjadi lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada meningkatnya konsumsi energi menjadi 71,81 kJ/mmol.

Saat selubung kaca mengelilingi anoda, efek pemanasan Joule yang terjadi disekeliling anoda menjadi semakin intensif. Hal ini menyebabkan selubung gas di anoda semakin mudah terbentuk dan semakin memicu tumbukan antara gelembung gas dengan muatan listrik. Selain itu, hamburan energi yang terjadi menjadi semakin besar dan memicu terbentuknya plasma (Sengupta, 1997). Pada penelitian dengan menggunakan selubung panjang, plasma yang terbentuk menjadi lebih mudah dan stabil. Hal ini dikarenakan semakin panjang selubung yang digunakan semakin efektif dalam mencegah panas yang keluar dari selubung, sehingga plasma yang terbentuk menjadi lebih stabil. Kestabilan plasma inilah yang membuat produksi gas klor semakin meningkat. Selain itu, pembentukan selubung gas yang semakin besar ini membuat arus menjadi menurun karena gas memiliki konduktivitas yang rendah (hambatannya tinggi), sehingga arus listrik menurun (Sengupta, 1997).

3.2 Pengaruh Tegangan dan kedalaman anoda terhadap Produksi Gas Klor

Tegangan dan kedalaman anoda adalah parameter penting yang mempengaruhi produksi gas klor dan konsumsi energi proses. Gambar 2 menunjukkan skema posisi anoda terhadap permukaan larutan dalam reaktor elektrolisis plasma. Pada kedalaman 0 cm, maka ujung anoda hanya menyentuh permukaan larutan NaCl

Gambar 2 menunjukkan sebuah pola dimana produksi gas klor paling tinggi dicapai pada tegangan 700V untuk semua kedalaman anoda. Produksi klor tertinggi pada konsentrasi 0,5 M NaCl adalah sebesar 21,09 mmol yang dicapai pada tegangan 700 V cm dan kedalaman anoda 2 cm. Meningkatnya kedalaman anoda menyebabkan ukuran plasma menjadi lebih besar sehingga akan semakin banyak spesies radikal Cl yang dapat terbentuk dilarutan sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan produksi gas klor.

Tabel 3 menunjukkan konsumsi energi terendah sebesar 28 kJ/mmol didapat pada kedalaman anoda sebesar 0 cm, sementara konsumsi energi tertinggi sebesar 42 kJ/mmol terjadi pada kedalaman anoda 1 cm. Secara umum energi listrik yang dibutuhkan akan semakin besar dengan semakin dalamnya anoda tercelup. Peningkatan produksi klor dari 0 cm menjadi 1 cm hanya 20 %, sementara peningkatan produksi klor pada kedalaman 2 cm mencapai 100 % (Tabel 3). Itu sebabnya mengapa konsumsi energi pada kedalaman anoda 1 cm adalah yang tertinggi.

Tabel 3. Produksi gas Klor dan Konsumsi energi pada berbagai kedalaman anoda dengan Larutan NaCl 0,5M Menggunakan Selubung Panjang dan tegangan 700 V

No	Kedalaman Anoda (cm)	Produksi gas Klor (mmol)	Konsumsi Energi (kJ/mmol)
1.	0	10,74	28
2.	1	12,84	42
3.	2	21,09	33

Menurunnya produk gas klor pada tegangan diatas 700 V berbeda dengan hasil yang didapatkan oleh Gao (2008) untuk proses produksi gas hidrogen dengan metode elektrolisis plasma. Gao menyatakan bahwa semakin tinggi tegangan listrik yang digunakan untuk menghasilkan plasma, konsentrasi radikal aktif yang terbentuk akan

semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan dengan perbedaan tegangan yang tinggi, energi pengekstasi elektron untuk menghasilkan radikal juga semakin tinggi. Akibatnya semakin tinggi tegangan listrik yang digunakan, pembentukan radikalnya pun juga semakin besar, sehingga produksi produk utamanya semakin meningkat seiring

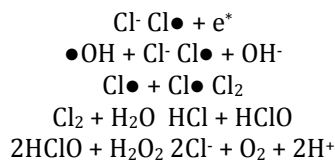


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dengan kenaikan tegangan. Namun pada produksi gas klor dengan elektrolisis plasma, terjadi fluktuasi arus listrik yang menyebabkan pancaran plasma menjadi terputus-putus, sehingga diduga zona plasma menjadi tidak stabil dan kembali menjadi zona elektrolisis. Pada zona elektrolisis gas klor yang terbentuk hanya berdasarkan reaksi ion-ion Cl^- yang bergabung menjadi gas Cl_2 , sedangkan pada elektrolisis plasma, mekanisme pembentukan gas klor tidak hanya melalui ion-ion Cl^- melainkan juga dapat terbentuk melalui radikal-radikal OH maupun radikal-radikal Cl yang ada dalam larutan (Jin dkk., 2010). Mekanisme pembentukan gas klor pada elektrolisis plasma dapat dijelaskan melalui reaksi berikut ini:



Penelitian yang dilakukan oleh Jin dkk. (2010) menunjukkan bahwa pada larutan NaCl , Cl^- dapat dirubah menjadi radikal klor. Dua radikal klor akan bereaksi satu sama lain membentuk molekul Cl_2 . Selain Cl_2 , HClO juga terbentuk dalam reaksi yang mengonsumsi H_2O_2 di dalam anolit, sehingga konsentrasi H_2O_2 dalam larutan NaCl menjadi lebih rendah dibandingkan dengan larutan lainnya. Adapun berdasarkan analisis di atas, produksi gas klor tertinggi pada tegangan 700V. Ketika tegangan dinaikkan menjadi 800V dan 900V, kondisi plasma menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan ini menyebabkan pembentukan radikal-radikal klor menjadi terganggu, sehingga menyebabkan produksi gas klor menjadi berkurang. Selain itu, plasma yang

terbentuk pada tegangan 600V belum mencapai kondisi yang optimal, sedangkan plasma yang terbentuk pada tegangan 700V jauh lebih stabil dengan pancaran plasma tidak terputus-putus. Adapun pada tegangan 800V dan 900V, walaupun plasma terbentuk akan tetapi pembentukannya semakin tidak stabil yang ditandai dengan pancaran plasma yang semakin terputus-putus. Hal ini diduga merupakan suatu karakteristik tersendiri yang terjadi pada pembentukan gas klor dengan metode elektrolisis plasma, khususnya pada konsentrasi 0,5M dengan tegangan di atas 700V karena pada produksi hidrogen dengan elektrolisis plasma, jumlah hidrogen yang dihasilkan berbanding lurus dengan tegangan yang digunakan (Yan, 2008). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menjelaskan fenomena ini.

4. Perbandingan Produksi Gas Klor dan Konsumsi Energi antara Elektrolisis Plasma dengan Elektrolisis Faraday

Tabel 4 menunjukkan produksi gas klor selama 15 menit yang diukur dengan menggunakan tiga metode elektrolisis yang berbeda, yaitu: elektrolisis plasma pada 700V, elektrolisis pada 200V, dan elektrolisis Faraday. Metode elektrolisis dilakukan dengan konfigurasi reaktor yang sama dengan elektrolisis plasma, hanya saja tegangannya diturunkan menjadi 200V dimana plasma belum terbentuk. Adapun elektrolisis Faraday merupakan metode perhitungan kandungan gas klor secara teoritis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Yan, 2009): dimana Q , F , dan adalah muatan elektrik (coulomb), konstanta Faraday, dan volum produk hidrogen. Dengan mengganti dengan yang diperoleh dari hasil titrasi iodometri pada elektrolisis 200V.

Tabel 4. Produksi Gas Klor pada Larutan NaCl 0,5M-1M Kedalaman Anoda 1 cm Selama 15 menit

Konsentrasi (M)	Produksi Gas Klor 15 Menit (mmol)		
	Elektrolisis (200V)	Elektrolisis Plasma (700V)	Elektrolisis Faraday
0.5	0.45	12.84	2.69
0.75	1.29	19.47	6.74
1	2.1	26.22	8.85

Produksi gas klor dengan metode elektrolisis pada konsentrasi 1M mencapai 5 kali lebih besar daripada konsentrasi 0,5M.

Sementara kenaikan produksi gas klor pada konsentrasi 1M dengan elektrolisis plasma hanya sekitar 2 kali lipat dari konsentrasi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

0,5M. Begitu pula dengan kenaikan produksi gas klor pada konsentrasi 1M hanya sekitar 3 kali lipat dari konsentrasi 0,5M dengan elektrolisis Faraday. Hal inilah yang menyebabkan mengapa semakin tinggi konsentrasi larutan, konsumsi energi dan rasio G pada Tabel 5 dan Tabel 6 semakin menurun.

Konsumsi energi merupakan hal utama yang menjadi sorotan dalam industri klor-alkali karena penggunaan listriknya merepresentasikan 70% dari harga penjualan (Santorelli dkk, 2009). Satuan konsumsi energi yang digunakan adalah kJ/mmol. Tabel 5 menunjukkan data bahwa energi terendah yang dikonsumsi untuk menghasilkan 1 mmol gas klor dicapai dengan menggunakan elektrolisis plasma. Apabila menggunakan

metode elektrolisis, energi yang dikonsumsi mencapai 711,23 kJ/mmol Cl_2 pada konsentrasi 0,5M. Adapun energi yang dikonsumsi pada konsentrasi 0,75M dan 1M dengan metode elektrolisis juga masih tetap tinggi di atas 200 kJ/mmol Cl_2 . Kemudian jika menggunakan perhitungan elektrolisis Faraday, diperoleh hasil konsumsi energi yang masih lebih besar daripada energi yang dikonsumsi dengan metode elektrolisis plasma. Hasil ini semakin menunjukkan bahwa produksi gas klor dengan menggunakan elektrolisis plasma tidak hanya dapat meningkatkan produksi gas klor tetapi juga dapat menekan jumlah energi yang dikonsumsi, sehingga prosesnya menjadi lebih efisien.

Tabel 5. Konsumsi Energi dengan Metode Elektrolisis yang Berbeda pada Larutan NaCl 0,5M-1M Kedalaman Anoda 1 cm Selama 15 menit

Jenis Elektrolisis	Konsumsi Energi (kJ/mmol)		
	0.5M	0.75M	1M
Elektrolisis Plasma (700V)	42.87	29.91	27.09
Elektrolisis Faraday	118.89	54.32	51.38
Elektrolisis (200V)	711.23	283.94	216.43

Perhitungan konsumsi energi ini didasarkan pada persamaan berikut (Yan dkk, 2006):

dengan V , Q , dan n adalah tegangan, muatan listrik, dan jumlah mol hidrogen. Namun dalam konteks ini diganti dengan mmol gas Cl_2 yang terukur berdasarkan titrasi iodometri.

Selanjutnya dapat ditentukan rasio perbandingan jumlah mol yang dihasilkan dari elektrolisis plasma dengan elektrolisis dan dari elektrolisis plasma dengan elektrolisis Faraday dari energi yang

dikonsumsi pada Tabel 5. Hasil yang diperoleh pada Tabel 6 menunjukkan bahwa produksi gas klor dengan proses elektrolisis plasma pada larutan 0,5M menghasilkan gas klor 16,59 kali lebih banyak daripada proses elektrolisis, sedangkan pada konsentrasi 0,75M dan 1M perbandingannya mencapai 9,49 dan 7,99 kali lebih besar dibandingkan proses elektrolisis. Kemudian jika dibandingkan dengan perhitungan elektrolisis Faraday, produksi gas klor dapat meningkat hingga 2,77 kali lebih besar pada 0,5M.

Tabel 6. Rasio Perbandingan Produksi Gas Klor pada Larutan NaCl 0,5M-1M Kedalaman Anoda 1 cm Selama 15 menit

G (mol/mol)	Konsentrasi (M)		
	0.5	0.75	1
Elektrolisis Plasma/Elektrolisis	16.59	9.49	7.99
Elektrolisis Plasma/Elektrolisis Faraday	2.77	1.82	1.9

Menurunnya nilai rasio G dengan meningkatnya konsentrasi larutan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 disebabkan adanya peningkatan produksi gas klor yang

signifikan dengan meningkatnya konsentrasi larutan pada proses elektrolisis (Tabel 4). Secara Teoritis, jumlah gas klor yang didapat dari perhitungan Elektrolisis Faraday adalah



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

jumlah maksimum yang dapat dicapai dari proses elektrolisis (efisiensi proses 100 %). Tabel 6 menunjukkan metode Elektrolisis Plasma mampu mencapai produksi gas klor hingga 277 % lebih besar dibanding perhitungan elektrolisis Faraday. Hal ini menunjukkan bahwa memang terjadi mekanisme pembentukan gas klor yang berbeda, dimana untuk proses elektrolisis mengikuti mekanisme reaksi redoks, sedangkan untuk Elektrolisis plasma, selain mekanisme redoks juga melalui mekanisme pembentukan radikal klor yang dapat meningkatkan produksi gas klor (Jin, 2010).

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil melakukan pengujian berbagai variabel utama pada proses produksi gas klor dengan metode elektrolisis plasma meliputi pengaruh geometrik penggunaan selubung, peningkatan suhu larutan, konsentrasi larutan, dan tegangan listrik. Stabilitas plasma dan banyaknya kondensat yang terbentuk sangat berpengaruh pada jumlah gas klor yang dihasilkan. Pada tegangan di atas 700V dengan konsentrasi NaCl 0,5M, terjadi ketidakstabilan plasma yang berdampak pada penurunan produksi gas klor. Untuk jumlah energi yang sama, rasio G dapat mencapai hingga 2,77 kali lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolisis Faraday pada konsentrasi NaCl 0,5M dan tegangan 700V.

Acknowledgement / Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Republik Indonesia dan Direktorat Penelitian dan Layanan Publik Universitas Indonesia (DRPM UI) melalui pendanaan RUUI PUPTN 2014.

Daftar Pustaka

- Abdel-Aal, H. K., Zohdy, K. M. & Kareem, M. A. (2010). Hydrogen Production Using Sea Water Electrolysis. *the Open Fuel Cells Journal*, 3, 1-7.
- Abqari, F. (2012). *Aplikasi Teknologi Elektrolisis Plasma pada Proses Produksi Klor-Alkali*. Sarjana, Universitas Indonesia.
- Bommaraju, T., Orosz, P. J., and Sokol, E. A. (2007). Brine Electrolysis. Available: <http://electrochem.cwru.edu/encycl> [Accessed 23rd February 2014].
- Gao, J. Z., Wang, A. X., Fu, Y., Wu, J. L., Ma, D. P., Guo, X., Li, Y. and Yang, W. (2008). Analysis of Energetic Species Caused by Contact Glow Discharge Electrolysis in Aqueous Solution. *Plasma Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, Feb. 2008.
- Jin, X. L., Wang, X. Y., Zhang, H. M., Xia, Q., Wei, D. B. & Yue, J. J. (2010). Influence of Solution Conductivity on Contact Glow Discharge Electrolysis. *Plasma Chem Plasma Process*, 30, 429 – 436.
- Nikolic V.M., Tasic G.S. dkk. (2010). *International Journal Hydrogen Energy*. Vol. In Press, Corrected Proof.
- Saksono, N., Ariawan, B. & Bismo, S. (2010). Hydrogen Productions System Using Non-Thermal Plasma Electrolysis In Glycerol-KOH Solution. S1, Universitas Indonesia.
- Saksono, N., Abqari, F., Bismo, S. & Kartohardjono S. (2013). Effect of Process Condition in Plasma Electrolysis of Chloralkali Production. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. Vol 4 No.5
- Santorelli, R. & Schervan, A. (2009). Energy Production From Hydrogen Co-Generated In Chlor-Alkali Plants By The Means Of Pem Fuel Cells Systems. *Nuvera Fuel Cells Europe*, Via XXV Aprile 2, 2009.
- Sengupta, S. K. & Singh, O. P. (1994). Contact glow discharge electrolysis: a study of its chemical yields in aqueous inert-type electrolytes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 369, 113-120.
- Udagawa J., Aguiar P. & Brandon N.P. (2007). *Journal Power Sources*. 166, 127.
- Yan, Z. C., Li, C. & Lin, W. H. (2006). Experimental Study of Plasma Under-liquid Electrolysis in Hydrogen Generation. *The Chinese Journal of Process Engineering*, Vol.6 No.3.
- Yan, Z. C., Li, C. and Lin, W. H. (2008). Hydrogen generation by glow discharge plasma electrolysis of ethanol solutions. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41 155205 (7pp).
- Yan, Z. C., Li, C. and Lin, W. H. (2009). Hydrogen generation by glow discharge plasma electrolysis of methanol solutions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 48 - 55.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENGARUHPERLAKUAN PANAS TERHADAP FASA PRESIPITAT DAN KETAHANAN KOROSI PADA PADUAN Co-Cr-Mo-C-N (ASTM F75) UNTUK APLIKASI BIOMEDIS

Yanyan Dwiyananti^{1*}, Alfirano, Hesga Fadiastian

¹Jurusan Teknik Metalurgi, FT-Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon, Banten 42435, Telp. 0254-395502; 376712 ext. 17, Fax.
(0254)395440

*Email : yanyan_dwiyananti@yahoo.com

Abstrak

Paduan as-cast Co-Cr-Mo (CCM) ASTM F75 telah banyak digunakan sebagai material implan pada bedah tulang terutama diaplikasikan untuk jaringan tulang yang saling bergesekan seperti sambungan tulang pinggul dan lutut, karena paduan ini memiliki kombinasi yang baik antara sifat biokompatibel, ketahan korosi dan sifat mekanik. Fasa dan morfologi presipitat pada paduan CCM diketahui sangat berkaitan erat dengan sifat mekanis dan ketahanan korosinya. Untuk merubah sifat-sifat paduan as-cast CCM terutama ketahanan korosi, dilakukan antara lain dengan mengontrol keberadaan presipitat yang tersebar di dalam matriks Co melalui pengaturan jumlah unsur pepadu selain proses perlakuan panas. Dari hasil percobaan terlihat bahwa paduan 015C0N hasil *aging* tidak mengandung presipitat dan memiliki ketahanan korosi yang paling baik. Laju korosi paduan ini sebesar 3.9194×10^{-6} mpy. Sedangkan pada paduan 0.25C0.2N *as-cast* memiliki kandungan presipitat yang paling banyak yaitu sebesar 13.24% presipitat dengan laju korosi sebesar 0.081257 mpy.

Kata kunci: Presipitat, lakupanas, ketahanankorosi, Co-Cr-Mo

Abstrac

ASTM F75 cast Co-Cr-Mo (CCM) alloys have been widely used as surgical implant materials especially applied to sliding parts in artificial joints such as hip and knee joints, because they exhibit the excellent combination of biocompatibility, corrosion resistance and mechanical properties. In the applications of the CCM alloys, the phase and morphology of precipitates are closely related to theirs corrosion resistance and mechanical properties. The common technique used to control the behavior of carbides distributed in the Co matrix is modification of chemical composition of the alloys as well as heat treatment. The good corrosion resistance for 0.15C0N aged-alloy which has no precipitate with corrosion rate 3.9194×10^{-6} mpy. Meanwhile, for 0.25C0.2N as-cast alloy which containing 13.24% precipitate has the corrosion rate about 0.081257 mpy.

Keywords : *Precipitate, heat treatment, corrosion resilience, Co-Cr, Mo*

1. PENDAHULUAN

Menurut penelitian dari WHO, salah satu penyebab kematian penduduk akibat kecelakaan yakni sebanyak 9 %. Pada tahun 2005 dari jumlah tersebut, WHO mencatat ada setidaknya 2 juta orang di dunia yang

mengalami patah tulang karena kecelakaa-n. Salah satu insiden kecelakaan yang cukup tinggi yakni insiden fraktur ekstremitas bawah, sekitar 46,2% dari insiden kecelakaan yang terjadi. Untuk meningkatkan kualitas hidup para lanjut usia ini diperlukan material



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

substitusi/implan yang bertujuan untuk mengganti jaringan yang rusak. Material implan yang paling banyak digunakan adalah logam karena berbagai keunggulan seperti sifat ketahanan korosi, ketahanan aus dan sifat mekanik yang baik. Salah satu logam implan yang banyak digunakan adalah paduan Co-Cr-Mo. Logam paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 merupakan paduan dari hasil coran yang perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro yang seragam dan memenuhi standar. Pada penelitian ini akan dilakukan perlakuan panas untuk meningkatkan ketahanan korosi dengan cara mengatur jumlah fasa dan presipitat serta memvariasikan komposisi kimia dan laku panas pada logam.

2. METODOLOGI PENELITIAN

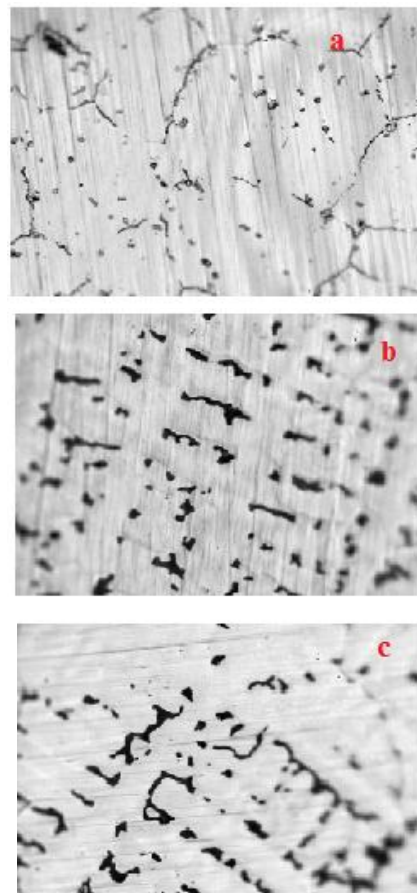
Pada penelitian ini akan digunakan material paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) yang akan dilakukan pengujian korosi, metalografi dan XRD. Spesimen berbentuk ingot dari hasil pengecoran dipotong dengan dimensi 15 mm x 15 mm x 7 mm sebanyak 9 buah, kemudian sampel diberikan keadaan vakum dengan menggunakan silika ampul sebanyak 6 buah yang kemudian dilakukan perlakuan panas dengan temperatur pemanasan 1523 K dengan waktu tahan 6 jam lalu dilakukan pendinginan cepat dengan air es kemudian dilakukan *aging* dengan temperatur 773 K dengan waktu tahan 6 jam sebanyak 3 buah sampel yang kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan air es. Setelah masing-masing spesimen diberikan perlakuan panas kemudian dilakukan grinding untuk menghilangkan scrap kemudian dilakukan polishing dan dilanjutkan etsa untuk pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik, kemudian dilakukan analisa fasa menggunakan XRD dengan cara masing-masing sampel diekstrak dengan metode *electrolytic extracted* dan kemudian di saring menggunakan membran filter kemudian dilakukan XRD untuk mengetahui jenis fasa presipitat yang terbentuk setelah kemudian dilakukan

pengujian korosi untuk mengetahui laju korosi dengan metode uji polarisasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Mikro

Hasil pengamatan morfologi permukaan paduan coran Co-Cr-Mo-C-N dengan unsur pepadu Si, Mn, Fe, Ni dengan variasi kadar C dan N yang berbeda dalam paduan dilakukan untuk mengetahui distribusi presipitat akan memiliki morfologi permukaan yang berbeda setelah material diberikan laku panas dengan laku panas *solution treatment* dan *aging*. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik di laboratorium metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Hasil foto mikroskop optik (200 kali pembesaran) (a) paduan 0.15C0N, (b) paduan 0.25C0N dan (c) paduan 0.25C0.2N tanpa adanya laku panas (*as-cast*)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

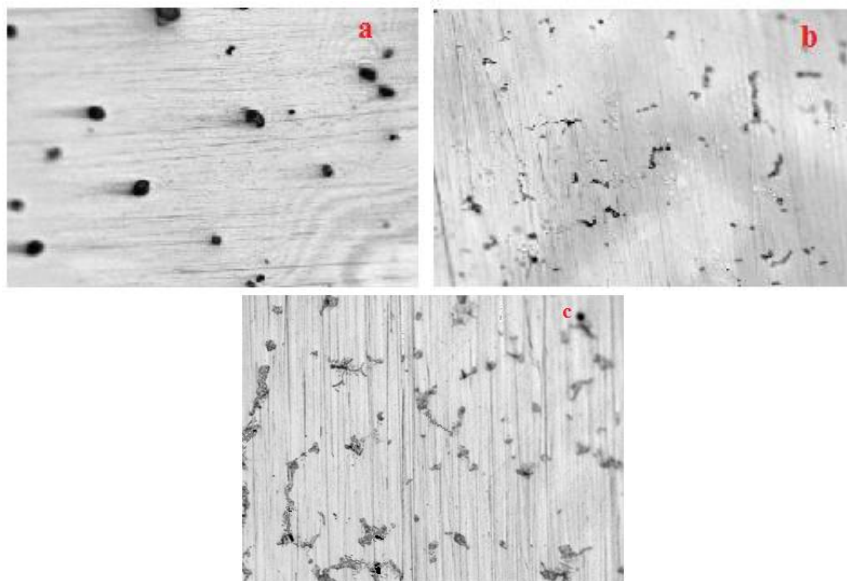
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Gambar 1 menunjukkan permukaan sampel hasil foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar tersebut terdiri dari sampel dengan paduan 0.15C0N (Gambar 1.a), paduan 0.25C0N (Gambar 1.b) dan paduan 0.25C0.2N (Gambar 1.c), dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa terdapat presipitat dalam matriks paduan Co-Cr-Mo-C-N. Persentase unsur karbon dan nitrogen yang berbeda dapat memberikan struktur mikro yang berbeda. Dapat dilihat bahwa pada gambar 1 terjadi perbedaan struktur mikro secara signifikan. Pada gambar 1.a yaitu paduan 0.15C0N terbentuk presipitat yang sedikit hanya memiliki 4.4% presipitat, sedangkan pada gambar 1.b yaitu paduan 0.25C0N terlihat jumlah presipitat yang semakin

banyak dengan jumlah presipitat sebesar 10.32%, begitu juga dengan gambar 1.c yaitu paduan 0.25C0.2N terlihat jumlah presipitat yang lebih banyak dari paduan 0.15C0N dan 0.25C0N dengan 13.24% presipitat. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa semakin banyak persen karbon dan nitrogen dalam paduan mengakibatkan jumlah presipitat yang semakin banyak.

Dari masing-masing sampel paduan tersebut kemudian dilakukan proses perlakuan panas dengan memasukan masing-masing sampel pada *silica ampule* dalam keadaan kedap udara lalu memanaskan sampel pada suhu 1523°K selama 360 menit pada *tube furnace* yang bertujuan untuk melihat distribusi struktur mikro dari presipitat dalam paduan Co-Cr-Mo-C-N.



Gambar 2. Hasil foto mikroskop optik (200 kali pembesaran) (a) paduan 0.15C0N, (b) paduan 0.25C0N dan (c) paduan 0.25C0.2N dengan laku panas *solution treatment*

Gambar 2 menunjukkan permukaan sampel hasil foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar tersebut terdiri dari sampel dengan paduan 0.15C0N (gambar 2.a), paduan 0.25C0N (gambar 2.b) dan paduan 0.25C0.2N (gambar 2.c) yang telah dilakukan pemanasan (*solution treatment*) pada temperatur 1523K dengan waktu tahan 360 menit kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan air es, dari hasil

pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa terdapat presipitat dalam matriks paduan Co-Cr-Mo-C-N dan ada yang tidak terdapat presipitat. Persentase unsur karbon dan nitrogen yang berbeda dapat memberikan struktur mikro yang berbeda. Dapat dilihat bahwa pada gambar 2 terjadi perubahan struktur mikro secara signifikan. Pada gambar 2.a yaitu paduan 0.15C0N tidak terbentuknya presipitat 0%, pada gambar 2.b



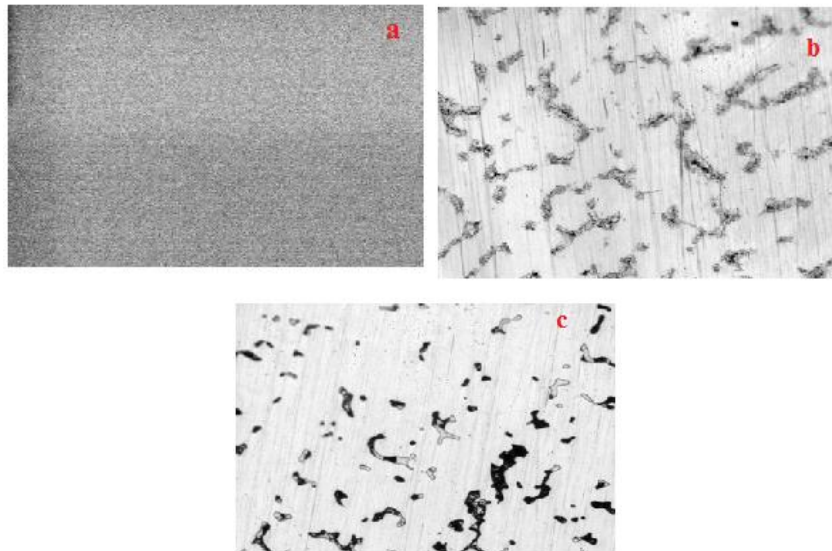
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yaitu paduan 0.25C0N terlihat adanya presipitat sebesar 3.7% presipitat, sedangkan pada gambar 2.c yaitu paduan 0.25C0.2N terlihat jumlah presipitat yang lebih banyak dari paduan 0.15C0N dan 0.25C0N sebesar

5.02% presipitat. Pada spesimen yang telah diberi laku panas *aging* pada masing-masing sampel dapat dilihat struktur mikro seperti berikut ini.



Gambar 3. Hasil foto mikroskop optik (200 kali pembesaran) (a) paduan 0.15C0N, (b) paduan 0.25C0N dan (c) paduan 0.25C0.2N dengan laku panas *aging*

Gambar 3 menunjukkan permukaan sampel hasil foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar tersebut terdiri dari sampel dengan paduan 0.15C0N (gambar 3.a), paduan 0.25C0N (gambar 3.b) dan paduan 0.25C0.2N (gambar 3.c) yang telah dilakukan pemanasan (*solution treatment*) pada temperatur 1523K dengan waktu tahan 360 menit kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan air es dan diberikan pemanasan ulang (*aging*) pada temperatur 773 K dengan waktu tahan 360 menit kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan air es, dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa terdapat presipitat dalam matriks paduan Co-Cr-Mo-C-N dan ada yang tidak terdapat presipitat. Persentase unsur karbon dan nitrogen yang berbeda serta laku panas dapat memberikan struktur mikro yang berbeda. Dapat dilihat bahwa pada gambar 3 terjadi perubahan struktur mikro secara signifikan. Pada gambar 3.a yaitu paduan 0.15C0N tidak terbentuknya

presipitat 0% presipitat, pada gambar 3.b yaitu paduan 0.25C0N terlihat adanya presipitat sebesar 9.1% presipitat, begitu juga dengan gambar 3.c yaitu paduan 0.25C0.2N terlihat jumlah presipitat yang lebih banyak dari paduan 0.15C0N dan 0.25C0N sebesar 12.5% presipitat. Hal tersebut dikarenakan sifat karbon dan nitrogen yang dapat membentuk karbida dalam paduan berbasis kobalt yang berupa presipitat. [A.M. Beltran. 1987].

3.2 Pengujian XRD

Pengujian XRD pada presipitat dari sampel paduan Co-Cr-Mo-C-N yang telah diekstrak dengan metode *electrolytic extracted* dan kemudian di saring menggunakan membran filter, bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa presipitat yang terkandung dalam sampel paduan Co-Cr-Mo-C-N. Hasil difraksi sinar X dari fasa penyusun presipitat dari sampel paduan Co-Cr-Mo-C-N diperlihatkan pada gambar dibawah ini

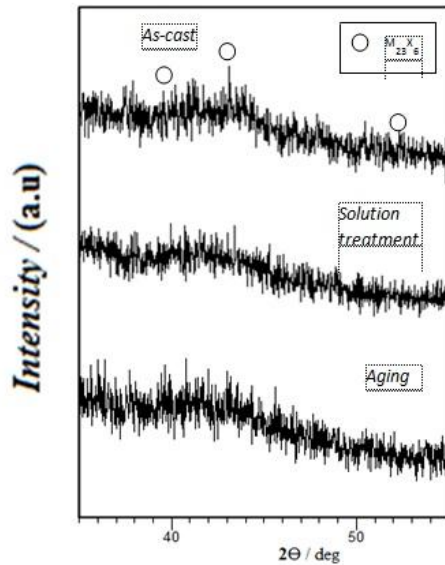


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

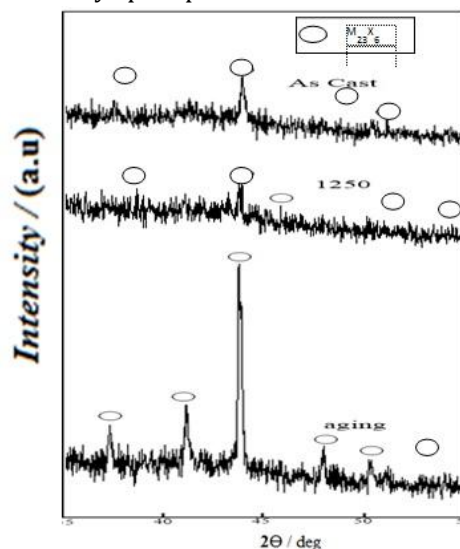
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

menunjukkan fasa-fasa penyusun presipitat pada sampel yang memperlihatkan pola difraksi terukur dimasing-masing komponen penyusun presipitat dari sampel paduan.



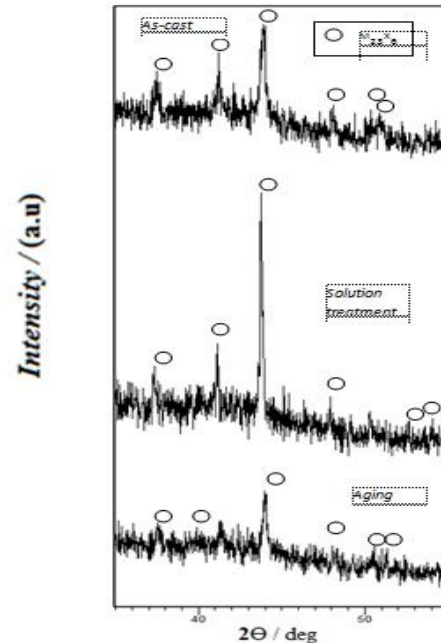
Gambar 4. Hasil XRD Fasa Presipitat pada sampel (0.15C0N)

Pada Gambar 4 terlihat hanya sedikit fasa yang terbentuk $M_{23}X_6$ dikarenakan hanya memiliki komposisi karbon sebanyak 0.15 saja. Hanya pada sampel yang tanpa perlakuan saja yang terdapat presipitat sedangkan pada *solution treatment* dan *aging* tidak adanya presipitat.



Gambar 5. Hasil XRD Fasa Presipitat pada sampel (0.25C0N)

Pada Gambar 5 fasa yang terbentuk hanya $M_{23}X_6$ dikarenakan memiliki komposisi karbon sebanyak 0.25%. Pada setiap perlakuan panas baik *as-cast*, *solution treatment* maupun *aging* presipitat yang terbentuk sebagai $M_{23}X_6$.



Gambar 6. Hasil XRD Fasa Presipitat pada sampel (0.25C0.2N)

Pada Gambar 6 fasa yang terbentuk hanya $M_{23}X_6$ dikarenakan memiliki komposisi karbon sebanyak 0.25% dan nitrogen sebesar 0.2%. Pada setiap perlakuan panas baik *as-cast*, *solution treatment* maupun *aging* presipitat yang terbentuk sebagai $M_{23}X_6$.

3.3 Ketahanan Korosi

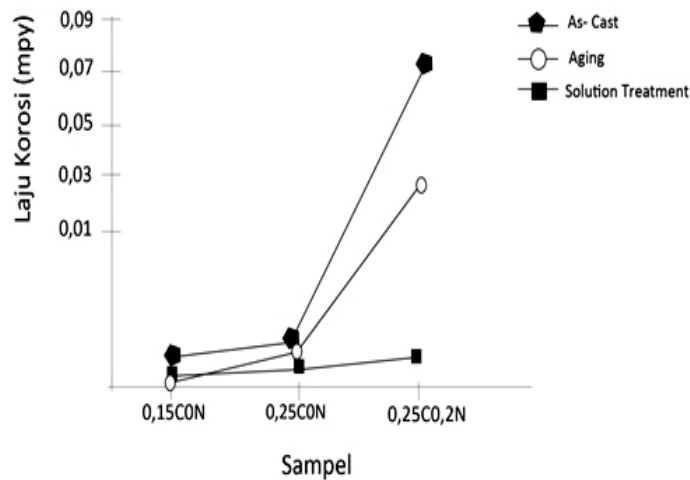
Berdasarkan hasil uji polarisasi didapatkan hasil laju korosi dari masing-masing sampel seperti pada Gambar 7. Dari gambar terlihat bahwa penambahan nitrogen dapat meningkatkan laju korosi secara signifikan dibanding karbon. Paduan hasil Solution Treatment memiliki ketahanan korosi yang paling baik.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 7. Diagram laju korosi terhadap laku panas

3.4 Pembahasan

Korosi adalah peristiwa degradasi material akibat pengaruh lingkungan. Dalam biomaterial, lingkungan yang dimaksud adalah plasma darah. Adapun plasma darah yang digunakan pada penelitian ini adalah

larutan asam laktat 1%, dimana larutan ini merupakan simulasi dari tingkat keasaman darah pada saat manusia dalam keadaan bergerak, sehingga tingkat keasaman plasma darah meningkat

Tabel 1 Hasil pengujian korosi dan XRD dengan tipe perlakuan panas pada

Logam implan Co-Cr-MoNo	Komposisi Co-Cr-Mo	Tipe perlakuan	Laju korosi (mpy)
1	0.15C0N	As-cast	0.0010213
2	0.15C0N	Solution Treatment	3.9194x10 ⁻⁶
3	0.15C0N	Aging	0.00020362
4	0.25C0N	As-cast	0.0032044
5	0.25C0N	Solution Treatment	0.00086359
6	0.25C0N	Aging	0.0025917
7	0.25C0.2N	As-cast	0.081257
8	0.25C0.2N	Solution Treatment	0.0011573
9	0.25C0.2N	Aging	0.032321

Berdasarkan Tabel 1 urutan sampel yang memiliki laju korosi yang paling rendah yaitu sampel no 3, 2, 5, 1, 8, 6, 4, 9 dan 7. Hal ini disebabkan pada 0.15C0N dengan perlakuan panas *aging* tidak terdapat presipitat sehingga spesimen tersebut sulit untuk terkena korosi. Sama halnya dengan 0.15C0N *solution treatment* berada pada posisi selanjutnya

sebagai spesimen yang ketahanan korosinya baik, karena sama-sama memiliki 0% presipitat sehingga semakin lama terkorosi. Akan tetapi 0.15C0N *aging* memiliki laju korosi sebesar 3.9194x10⁻⁶ mpy sedangkan 0.15C0N memiliki ketahanan korosi sebesar 0.00020362 mpy maka selisih laju korosinya sebesar 2.075394x10⁻⁴ hal ini disebabkan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

karena pada laku panas *aging* dapat memperkuat barisan formasi karbon pada presipitat.

Pada sampel 0.25C0.2N *aging* dan 0.25C0.2N *as-cast* dengan memiliki laju korosi disetiap spesimen 0.032321 mpy dan 0.081257 mpy memiliki jumlah presipitat yang paling banyak dibandingkan dengan sampel lainnya. Pada pada 0.25C0.2N *aging* memiliki jumlah presipitat sebesar 12.5% sedangkan 0.25C0.2N tanpa perlakuan panas memiliki jumlah presipitat sebesar 13.24% sehingga mengakibatkan ketahanan korosi yang kurang baik untuk digunakan sebagai material implan. Adanya unsur nitrogen akan mempercepat spesimen terkorosi sehingga akan mempersulit larutnya presipitat pada spesimen pada saat pemanasan.

Pada seluruh sampel yang telah dilakukan *solution treatment* memiliki 0% presipitat pada sampel 0.15C0N, 3.7% presipitat pada sampel 0.25C0N, dan 5.02% presipitat pada sampel 0.25C0.2N sehingga memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan sampel yang diberi perlakuan *aging* dan *as-cast*. Hal ini disebabkan karena presipitat yang terbentuk pada *solution treatment* larut pada saat pemanasan. Larutnya presipitat setelah dilakukannya *solution treatment* mengakibatkan presipitat yang terdapat pada *as-cast* dan *aging* menjadi lebih baik.

Pada Gambar 2 seluruh presipitat terlihat garis putus-putus hitam disetiap batas presipitat, terlihat seperti berkoloni maka yang membentuk garis putus-putus tersebut adalah kandungan karbon. Dimana karbon dapat memperkuat barisan formasi pada presipitat sehingga pada saat matriks akan keluar dari presipitat maka matriks tersebut tertahan dengan karbon sehingga mengakibatkan pada spesimen tersebut memiliki ketahanan korosi yang lebih baik. Pada seluruh sampel yang telah dilakukan *solution treatment* memiliki 0% presipitat pada sampel 0.15C0N, 3.7% presipitat pada sampel 0.25C0N, dan 5.02% presipitat pada sampel 0.25C0.2N.

Pada spesimen yang terdapat kandungan nitrogen menjadi spesimen yang mudah terkorosi. Hal ini disebabkan karena adanya unsur nitrogen pada paduan Co-Cr-Mo mengurangi jumlah kristal HCP, karena nitrogen dapat menstabilkan fasa FCC [Montero et al. 2001]. Sehingga ukuran butir lebih besar serta distribusi yang tidak homogen akan mengakibatkan *fatigue strength*. Dilihat dari hasil mikroskop optik pada Gambar 2.c dan 3.c memiliki ukuran butir yang lebih halus pada sampel yang tidak terdapat unsur nitrogen, sehingga spesimen lebih biokompatibel dibandingkan dengan paduan Co-Cr-Mo yang terdapat unsur nitrogen [Wiranata, 2012].

Banyaknya jumlah presipitat sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas yang dilakukan pada setiap spesimen. Akan tetapi pada spesimen yang tanpa perlakuan panas memiliki jumlah presipitat yang paling banyak karena hasil dari pengecora sehingga presipitat pada spesimen tersebut tidak larut akibat adanya pemanasan pada temperatur tinggi. Sedangkan pada sampel yang telah dilakukan *aging* memiliki jumlah presipitat paling sedikit dibandingkan *as-cast* dan *solution treatment*. Karena pada *solution treatment* sampel dipanaskan pada 1523K selama 360 menit. Semakin lama waktu tahan dan semakin tinggi temperatur pemanasan pada sampel mengakibatkan presipitat larut sempurna [Mineta et al. 2010]. Sedangkan pada sampel yang dilakukan *aging* dengan melakukan pemanasan ulang setelah dilakukannya *solution treatment* pada suhu 773K selama 360 menit terjadi pembentukan presipitat kembali yang lebih tinggi dibandingkan dari hasil *solution treatment* dan lebih rendah jumlah presipitatnya dengan *as-cast* [Montero et al. 2001].

Semakin sedikit jumlah presipitat yang terdapat pada sampel maka akan semakin tinggi ketahanan korosi sehingga mengakibatkan lebih sulit terkorosi maka sangat baik bagi tubuh untuk digunakan mengganti jaringan tubuh yang rusak. Pada paduan Co-Cr-Mo yang telah diberikan laku



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

panas memiliki laju korosi masih berada di dalam batas aman, sesuai dengan standar eropa untuk meterial implan pada tubuh yaitu 0.45 mpy.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

- Perlakuan panas dapat mempengaruhi jumlah presipitat dari masing-masing sampel. Pada sampel *as-cast* memiliki jumlah presipitat $M_{23}X_6$ yang paling banyak sedangkan pada *solution treatment* memiliki jumlah presipitat yang paling sedikit dan pada *aging* memiliki jumlah presipitat yang lebih banyak dibandingkan dengan *solution treatment* akan tetapi memiliki jumlah presipitat yang lebih sedikit dibandingkan dengan *as-cast*.
- Semakin tinggi kandungan karbon yang terdapat pada setiap sampel meningkatkan jumlah presipitat. Sedangkan nitrogen secara signifikan menurunkan ketahanan korosi paduan
- Ketahanan korosi yang paling baik pada sampel 0.15C0N hasil *aging* yang tidak memiliki presipitat dengan laju korosi 3.9194×10^{-6} mpy, sedangkan pada sampel 0.25C0.2N *as-cast* memiliki presipitat yang paling banyak yaitu sebesar 13.24% presipitat sehingga paling mudah terkorosi dengan laju korosi sebesar 0.081257 mpy.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alfirano., Analisa Sifat Mampu Tempa Paduan Co-30%Cr-5%Mo dengan Penambahan Si dan Mn, Tesis Magister, ITB. Bandung, 2007.
- Alfirano et al, *Precipitates in As-Cast and Heat-Treated ASTM F75 Co-Cr-Mo-C Alloys Containing Si or Mn*, Japan, 2011
- Alfirano et al, *Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys* ASM Handbook Vol. 9, 2004. *Metallography and Microstructures*.
- ASM International. Japan, 2012. hal 762-774
- ASTM F75 CoCr Alloy. Arcam EBM System
- Mineta Shingo et al, *Phase and Formation/Dissolutios in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Nitrogen Addition*. Japan, 2012
- Mineta Shingo et al, *Precipitates in Biomedical Co-28Cr-Mo-(0-0,41)C Alloys Heat-Treated at 1473 K to 1623 K (1200°C to 1350°C)*, Japan, 2012
- Mancha. H et al, *M₂₃C₆ Carbide Dissolution Mechanisms during Heat Treatment of ASTM F-75 Implat Alloys*. Saltillo Coah. Mexico, 2001
- Montero C et al, *Effect of Fcc-Hcp Phase Transformation Produced by Isothermal Aging on the Corrosion Resistance of a Co-27Cr-5Mo-0.05C Alloy*. Meksiko, 2001
- Okazaki Yoshimitsu et al, *Comparison of metal release from various metallic biomaterials in vitro*. Japan, 2004.
- Prasetyo Agung, Pengaruh Variasi Kandungan Silikon Terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan *Artificial Blood Plasma* dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik *Exposure*. Tesis, FT UI. Depok, 2010
- Priyotomo Gadang, Pengembangan Material Kobalt Sebagai Material Pengganti Fungsi Tulang Pada Tubuh Manusia. Seminar Material Metalurgi. Serpong, 2005.
- Smallman R E dan Bishop R J, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material Edisi 6*. Erlangga. Jakarta, 2000.
- Soebawi Dudy Suryadi, Pengaruh Kandungan 0,5%Mn, 0,03%Si Dan 0,03%C Di Dalam Paduan Logam Biokompatibel Co-35%Cr-5%Mo Terhadap Mampu Tempa. FT Untirta. Cilegon, 2007.
- Takayuki Narushima et al, *New Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys*. Japan, 2012.
- Uğur Türkan et al, *Metal ion release from TiN coated CoCrMo orthopedic implant material*. Turki, 2005.



PENGARUHPERLAKUAN PANAS TERHADAP FASA PRESIPITAT DAN KETAHANAN AUS PADA PADUAN Co-Cr-Mo (ASTM F75) UNTUK APLIKASI BIOMEDIS

Yanyan Dwiyanti^{1*}, Alfirano, Alfani Ghani Sauri

¹Jurusan Teknik Metalurgi, FT-Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten
 Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon, Banten 42435, Telp. 0254-395502; 376712 ext. 17, Fax.
 (0254)395440

*Email : yanyan_dwiyanti@yahoo.com

Abstrak

Berdasarkan data Sistem Informasi Rumah Sakit (SIRS) tahun 2010, angka insiden patah tulang paha atas tercatat sekitar dua ratus dari seratus ribu kasus pada wanita dan pria di atas usia 40 tahun diakibatkan osteoporosis. WHO menunjukkan bahwa 50% patah tulang paha atas ini akan menimbulkan kecacatan seumur hidup dan menyebabkan angka kematian pada tahun pertama akibat komplikasi imobilisasi. Salah cara untuk memperbaiki kerusakan pada tulang dengan memasang *implant* (pen) pada bagian tulang yang rusak. Material yang sering digunakan untuk mengganti jaringan tubuh yang rusak adalah logam contohnya adalah paduan logam berbasis *Cobalt* (Co). Untuk mengetahui dampak jumlah material yang terabrasi pada siklus tubuh manusia maka perlu dilakukan penelitian perbandingan ketahanan aus terhadap proses *as-cast*, *solution treatment* dan *aging*. Hal ini dilakukan untuk melihat ketahanan aus pada paduan Co-Cr-Mo sebagai pengganti jaringan tulang yang rusak. Pada paduan Co-Cr-Mo kondisi *as-cast*, *solution treatment* dan *aging* terdeteksi adanya fasa dalam bentuk presipitat yang mempengaruhi karakteristik paduan. *Solution Treatment* dilakukan pada temperatur 1523K (1250 °C) dan waktu tahan selama 21,6 ks. Dan dilanjutkan proses *aging* pada temperatur 773K (500 °C) dengan waktu tahan 21,6 ks. Uji keausan dilakukan dengan metoda *pin on disc*. Paduan Co-Cr-Mo sebagai pin dan alumina sebagai disk dilakukan dalam 1% asam laktat. Hilangnya massa dan elusi ion diamati setelah pengujian ketahanan aus. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *aging* dapat meningkatkan ketahanan aus total jumlah endapan ion yang terelusi pada sampel *aging* sebesar 525.72 ppm. Fasa presipitat utama yang terdeteksi adalah fasa presipitat tipe $M_{23}X_6$ yang terbentuk karena pengaruh karbon.

Kata kunci : *aging*, material biomedis, paduan Co-Cr-Mo, presipitat, *pin-on-disk wear test*

Abstract

Based on data from the Sistem Informasi Rumah Sakit (SIRS) in 2010, the incidence rate of femur fractures above recorded about two hundred of the one hundred thousand cases in women and men over the age of 40 years due to osteoporosis. WHO indicates that 50% of femur fractures above this will lead to a life time of disability and cause mortality in the first year due to complications of immobilization. One way to repair the damage to the bone by placing *implants* (pen) on the damaged bone. The material is often used to replace damaged tissue is a metal alloy-based example is *Cobalt* (Co). To determine the amount of material that is impacted on the cycle of the human body it is necessary to study the wear resistance comparison to the *as-cast*, *solution treatment* and *aging*. This is done to see the wear resistance of the Co-Cr-Mo alloy as a replacement for damaged bone tissue. In the Co-Cr-Mo alloy, *as-cast*, *solution treatment* and *aging* condition phase is detected in the form of precipitates that affect the characteristics of the alloy. *Solution Treatment* carried out at a temperature of 1523K (1250 °C) and holding time of 21.6 ks. And continued the process of *aging* at a temperature of 773K (500 °C) with a holding time of 21.6 ks. Wear test performed by the method *pin on disc*. Co-Cr-Mo Alloy pins and alumina disks were conducted in 1% lactic acid solution. The mass loss and elution of metallic ions observed after the wear test. Based on the results of the study showed that the aging process can increase



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

the wear resistanc. The total amount of eluted ions precipitate on aging samples at 525.72 ppm. The main precipitates phase is $M_{23}X_6$ typed which formed by carbon influences.

Keywords: aging, biomedical materials, Co-Cr-Mo alloys, precipitates, pin-on-disk wear test

1. PENDAHULUAN

Co adalah material implant logam yang banyak digunakan untuk mengganti jaringan tubuh yang mengalami gesekan seperti tulang pinggul dan lutut. Material ini memiliki kelebihan ketahanan terhadap korosi, sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan, dan ketahanan aus yang tinggi, sehingga baik dipergunakan sebagai material implan. Paduan Co-Cr-Mo ini dibagi menjadi dua jenis yaitu *cast* (cor) and *wrought* (tempa) alloys. Paduan Co-Cr-Mo F75 hasil pengecoran memiliki sejumlah presipitat yang tersebar di dalam matriks. Sifat ketahanan aus dan korosi paduan coran Co-Cr-Mo sangat dipengaruhi oleh jumlah, jenis fasa, ukuran dan distribusi presipitat yang tersebar di dalam matriks Co. Untuk mencapai sifat-sifat yang diperlukan agar sesuai standar maka dilakukan berbagai variasi temperatur dan menggunakan media pendingin diharapkan dapat dicapai jumlah presipitat yang sesuai untuk mencapai ketahanan aus yang diinginkan. Ketahanan aus yang rendah dapat mengakibatkan kegagalan klinis, osteolisis, dan reaksi alergi kulit apabila logam tersebut mengendap dalam tubuh. Oleh karena itu proses perlakuan panas merupakan salah satu cara untuk meningkatkan sifat material terhadap gesekan. Mengatur jumlah presipitat merupakan salah satu cara dalam mengatasi hal tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Spesimen

Dalam penelitian ini menggunakan spesimen standard ASTM F75 yang didapat dari *Yoneda Advance Casting co Ltd* Takaoka, Jepang. Dalam bentuk ingot dan dua paduan, yaitu 63,55% Co – 28% Cr – 6% Mo – 0,8% Si – 0,8% Mn – 0,4% Fe – 0,2% Ni. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dilakukan perlakuan panas dengan tujuan melarutkan presipitat karbon yang terkandung dalam paduan. Perlakuan panas dilakukan dengan proses *Solution Treatment* 1250 (ST) dan *Aging*. temperatur perlakuan pada ST yaitu 1250

°C sedang kan *Aging* pada temperatur 500 °C dengan waktu tahan masing-masing 6 jam.

2.2 Uji ketahanan aus Pin On Disk

Spesimen yang telah dilakukan perlakuan panas kemudian di preparasi kembali. Berdasarkan *Japan Industrial Standards* (JIS) T0303 sampel dibubut menggunakan mesin bubut dengan dimensi ukuran $\phi 5$ mm x 40 mm, Ra < 0.05 sebagai pin dan Al_2O_3 (99.9%, CRA3846-0, KYOCERA, Kyoto, Japan) dengan dimensi ukuran $\phi 40$ mm x 5 mm, Ra < 0.05 sebagai disk. Spesimen yang telah di bubut kemudian dilakukan *polishing* dengan menggunakan *micropolish* alumina lalu dibersihkan *ultrasonic cleaned* beserta etanol. selanjutnya spesimen tersebut dilakukan pengujian ketahanan aus 1 % larutan asam laktat (pH = 2,3) yang digunakan sebagai pelumas dipertahankan pada 310 K. Setelah itu mengatur kecepatan sliding sebesar 16 rpm (25 mm/s) selama 259.2 ks atau 3 hari setiap masing-masing spesimen. Pin diberikan pembebanan 1.0 kgf yang setara dengan 166 Mpa berdasarkan teori perhitungan *Hertzian Contact Stress* beban yang dapat diterima oleh tulang panggul atau lutut orang dewasa. Setelah pengujian ketahanan aus, pindibersihkan dengan etanol dan aquades, dankemudian ditimbang untuk mengevaluasi massa yang hilang. permukaan pindiamati dengan SEM. komposisi kimia dari permukaan *disk* diukur dengan X-ray spectrometry (EDX). Logam konsentrasi ion dalam filtrat yang kuantitatif ditentukan menggunakan Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sruktur Mikro Paduan Co-Cr-Mo-C

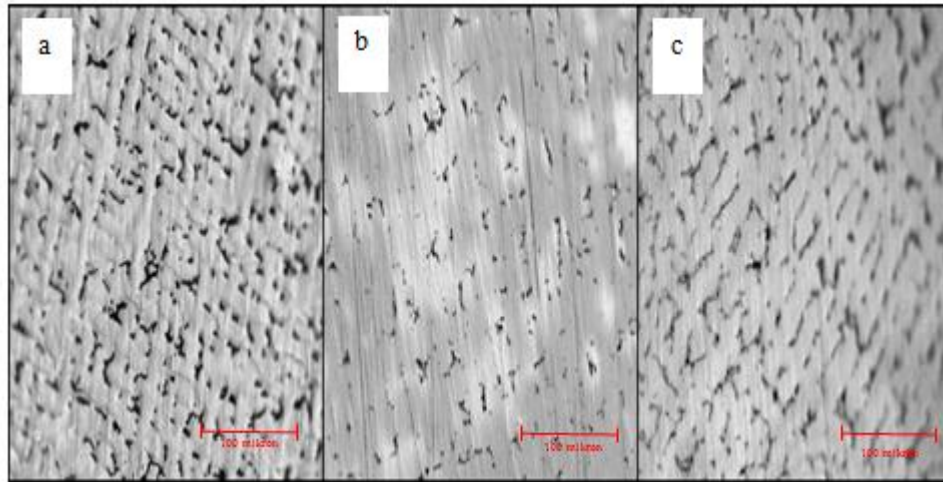
Hasil pengamatan morfologi permukaan paduan coran Co-Cr-Mo-C dengan unsur pemadu Si, Mn, Fe, Ni dan dengan variasi pemanasan yang berbeda dalam perlakuan panas dilakukan untuk mengetahui distribusi presipitat. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

diperlihatkan pada gambar 1 yang menunjukkan tersebut.
fasa presipitat yang terdapat pada paduan coran



Gambar 1. Hasil foto mikroskop optik (100 kali pembesaran), (a) *As-cast*, (b) *Solution Treatment 1250* (c) *Aging*

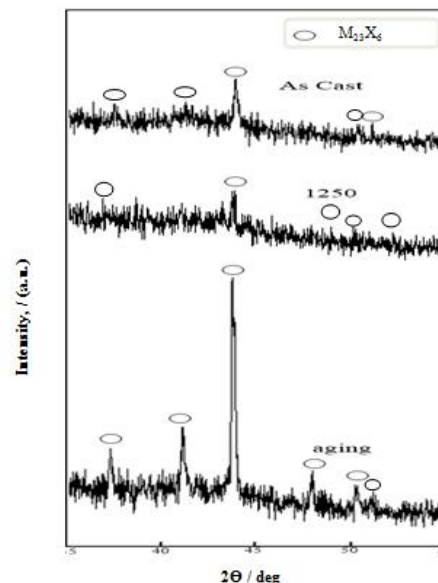
Pada gambar 1a, gambar 1b dan gambar 1c menunjukkan morfologi dari *as-cast*, *ST* dan *aging* paduan Co-Cr-Mo-C, di mana terlihat pada gambar 1 b semakin tinggi temperatur jumlah presipitat semakin sedikit hal ini disebabkan karena presipitat larut sebagian. Sedangkan pada gambar 1c sampel Co-Cr-Mo yang dilakukan perlakuan panas pada temperatur 500 °C dengan waktu tahan 6 jam dapat meningkatkan presipitat yang terbentuk. Sehingga presipitat tidak larut sempurna dibandingkan dengan sampel yang dilakukan *solution treatment*. Sampel dengan kandungan karbon yang tinggi menyebabkan tingkat kelarutan presipitat yang semakin rendah, hal tersebut dikarenakan fasa tipe $M_{23}X_6$ terbentuk karena adanya karbon dalam paduan yang menyebabkan presipitat yang terbentuk lebih sulit terlarut, dengan kata lain jumlah presipitat yang semakin tinggi mengakibatkan laju pelarutan yang semakin rendah.

Distribusi fasa presipitat akan semakin meningkat seiring meningkatnya kadar karbon dalam paduan Co-Cr-Mo, hal ini disebabkan karena karbon cenderung membentuk fasa presipitat tipe $M_{23}C_6$ yang merupakan fasa utama dalam paduan Co-Cr-Mo-C-N. Dalam penelitian ini analisa XRD dilakukan pada presipitat dari hasil proses *electrolytically extracted*.

Pada gambar 2 ditampilkan grafik XRD dari sampel logam paduan Co-Cr-Mo. Pada grafik tersebut terlihat bahwa grafik hanya menampilkan

peak yang hanya terdapat satu puncak yang terlihat atau yang tinggi setiap *peak* hampir sama, hal tersebut dikarenakan ketidakteraturan posisi atom-atom pada logam paduan Co-Cr-Mo dan pengaruh dari perlakuan panas yang telah diberikan.

Perlakuan panas *aging* akan membuat sifat mekanik logam menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro akibat dari pembentukan presipitat.



Gambar 2. Hasil XRD Fasa Presipitat pada *As-Cast*, *Solution Treatment 1250*, dan *Aging* Paduan Co-Cr-Mo-C

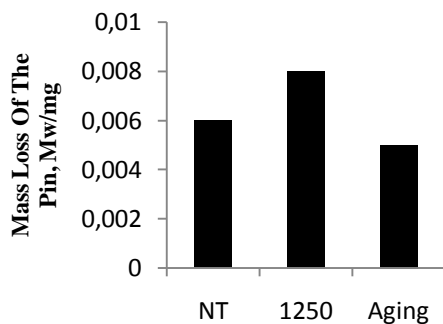


Seminar Nasional Intergrasi Proses

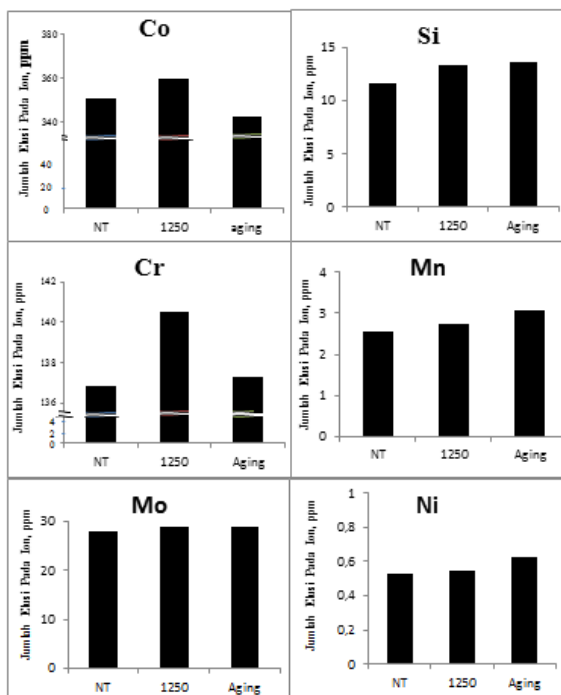
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3.2 Pengaruh unsur paduan pada paduan Co-Cr-Mo

Logam paduan berbasis kobalt tentu tidak terlepas dari pengaruh unsur-unsur paduannya seperti Mn, Si, Ni, dan Fe. Penambahan Si akan meningkatkan pembentukan presipitat, hal tersebut dikarenakan dalam perlakuan panas Si meningkatkan aktivitas termodinamika karbon, sehingga peningkatan karbida akibat penambahan Si akan membentuk fasa π pada presipitat yang kaya akan karbon. Sedangkan penambahan Mn akan menurunkan pembentukan presipitat, karena Mn dapat menurunkan aktivitas karbon, sehingga Mn dapat meningkatkan laju kelarutan presipitat.



Gambar 3. Masa yang hilang pada pin setelah uji ketahanan aus



Gambar 4. Jumlah ion yang terelusi pada Co, Cr, Mo, Si, Mn and Ni, setelah uji ketahanan aus

Hasil perhitungan jumlah kadar elusi pada ion dengan menggunakan alat ICP terlihat pada gambar 4 unsur padu seperti Si-Mn-Ni meningkat secara signifikan akibat adanya perlakuan panas. Unsur Si mudah sekali bersenyawa dan membentuk ikatan kimia seperti senyawa intermetalik Mo_2Si . Struktur kristal senyawa ini adalah tetragonal [Alfirano, 2007], terjadinya peningkatan jumlah elusi pada unsur Si-Mn-Ni secara signifikan disebabkan pada proses perlakuan panas, presipitat dengan struktur tetragonal yang terbentuk telah mengalami pembesaran ukuran serta telah terdistribusi secara merata didalam matriksnya, sehingga semakin signifikan terhadap peningkatan ketahanan aus. sebagai penyebab terjadinya kehilangan unsur padu pada paduan Co-Cr-Mo selama pengujian ketahanan aus. Besar atau kekasaran presipitat menunjukkan atom kromium yang relatif tinggi dibandingkan dengan presipita ukuran kecil

Pada sampel *as-cast* jumlah elusi unsur padu seperti Si-Mn-Ni paling rendah hal ini diakibatkan karena kontribusi presipitat terhadap temperatur tinggi mempengaruhi jumlah elusi pada setiap unsur padu. Jika dilihat pada sampel ST dan *aging* perlakuan panas sangat mempengaruhi nilai ketahanan aus, semakin banyak jumlah presipitat maka ketahanan aus meningkat. Fasa utama pada paduan Co-Cr-Mo adalah $M_{23}X_6$, fasa ini mengandung Mn dan Ni hal ini yang memungkinkan meningkatnya jumlah elusi pada unsur padu meningkat secara signifikan karena *defect* biasa terjadi pada daerah batas butir. Bilamana konsentrasi atom Cr pada presipitat bertambah, hal ini mengakibatkan jumlah atom Cr disekitar daerah presipitat berkurang, sehingga daerah tersebut relatif mudah terjadi cacat atau terelusi [Davison,R.M., et al 1990].

3.3 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Aus pada Paduan Co-Cr-Mo-C

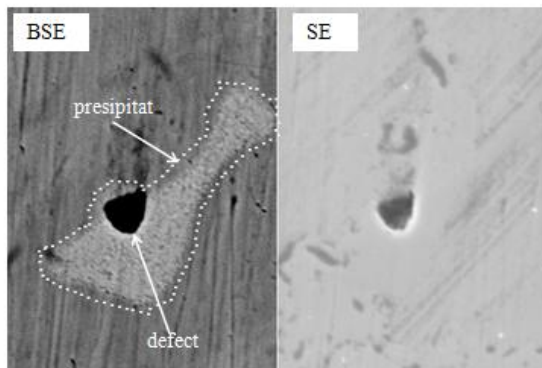
perlakuan panas dapat mempengaruhi tingkat ketahanan aus dari suatu material. Keausan adalah hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang terjadi sebagai hasil gerak relatif pada permukaan material. peristiwa degradasi material akibat pengaruh lingkungan. Dalam bidang biomaterial, lingkungan yang



Seminar Nasional Intergrasi Proses

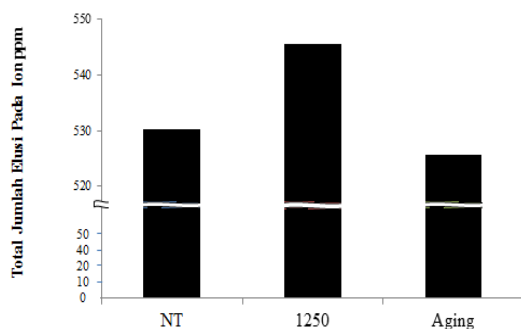
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dimaksud adalah fluida darah dan gesekan terhadap material lain. Adapun fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan asam laktat 1%. Sedangkan material lain yang berinteraksi dengan paduan Co-Cr-Mo adalah alumina 99%. dimana larutan dan alumina ini merupakan simulasi dari tingkat keasaman darah pada saat manusia bergerak.



Gambar 5. Hasil foto SEM pada sampel *as cast* setelah uji ketahanan aus

Pada gambar 5 menunjukkan adanya presipitat pada sampel *as cast* yang mengalami degradasi akibat pengujian ketahanan aus dengan larutan asam laktat sebesar 1%. Cacat pada presipitat $M_{23}X_6$ terjadi karena ketidakhomogenan unsur pada material yang menyebabkan terjadinya beda potensial yang mengakibatkan keausan.



Gambar 6. Total jumlah endapan yang terelusi pada larutan asam laktat sebesar 1% setelah uji ketahanan aus

Pada gambar 6 menunjukkan total jumlah endapan yang terelusi pada larutan asam laktat 1% setelah uji ketahanan aus yang mengalami endapan paling sedikit adalah dengan perlakuan aging sebesar 525.72 ppm hal ini disebabkan karena pengaruh perlakuan panas mempengaruhi nilai keausan pada material biomedis sehingga perlakuan aging dan karakteristik mekanik ini

menjadi penting untuk aplikasi biomaterial, khususnya *hip joint* karena *hip joint implant* selain harus biokompatibel terhadap tubuh manusia juga harus tahan terhadap gesekan sehingga tidak terjadi endapan unsur pemuatan pada tubuh manusia dan dapat memenuhi persyaratan yang dibutuhkan untuk diaplikasikan sebagai implan *hip joint*.

4. Kesimpulan dan Saran

- Proses perlakuan panas dengan perlakuan aging dapat meningkatkan ketahanan aus pada paduan Co-Cr-Mo-C karena terjadi perubahan struktur material akibat perlakuan panas, yaitu adanya pertumbuhan presipitat yang semakin banyak.
- Terjadinya peningkatan jumlah elusi pada unsur Si-Mn-Ni secara signifikan disebabkan pada proses perlakuan panas, presipitat dengan struktur tetragonal yang terbentuk telah mengalami pembesaran ukuran serta telah terdistribusi secara merata di dalam matriksnya, sehingga semakin signifikan terhadap peningkatan ketahanan aus.
- Total jumlah endapan ion yang terelusi pada pada sampel *as cast* ST dan aging secara berurutan adalah 530.14, 545.41, dan 525.72 dalam satuan ppm maka jumlah elusi yang lebih sedikit dimiliki oleh aging sehingga dengan diberi perlakuan *aging* material berbasis *Cobalt* layak digunakan pengganti jaringan tulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfirano, Precipitates in As-Cast and Heat-Treated ASTM F75 Co-Cr-Mo-C Alloys Containing Si or Mn, Universitas Tohoku, Japan, 2011.
- Alfirano, Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys, Universitas Tohoku, Japan, 2012.
- ASM Speciality Handbook. Heat-Resistant Materials.
- ASTM F75 CoCr Alloy. Arcam EBM System.
- Beltran A.M., Cobalt-Base Alloys, in Superalloys II, New York, 1987, p.144.
- Davison, R.M., et al., *Corrosion of Stainless Steels, Metals Handbook*, ASM Int., 1990, 9th edition, V 13, p 547.
- Kaori Nakaie, Mass Loss and Ion Elution of Biomedical CoCrMo Alloys during Pin-on-Disk Wear Tests, Japan, 2013.

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- Prasetyo Agung, Pengaruh Variasi Kandungan Silikon Terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan *Artificial Blood Plasma* dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik *Exposure*, FT UI, Depok, 2010.
- R Varano, J D Bobyn, J B Medley, and S Yue, The effect of microstructure on the wear of cobalt-based alloys used in metal-on-metal hip implants, Canada, 2005.
- Rodriguez, Brendamari, *Biomaterials for Orthopedics*, Puerto Rico, University of Puerto Rico, Mayaguez, 2004.
- Sudjatmoko, Kajian Pemanfaatan Biomaterial Austenitik 316l Dalam Bidang Orthopedik, BATAN, Yogyakarta, 2008.
- Yuswono, Pembuatan Logam Paduan Biocompatibel (Co-30%Cr-5%Mo) Melalui Pengerjaan Tempa., Seminar Material Metalurgi, LIPI, 2005.



**THE APPLICATION OF COMMAND GENERATOR TRACKER CONCEPT IN MODEL REFERENCE
ADAPTIVE CONTROL OF CHEMICAL PROCESSES**

Marthen Luther Doko^{1*}, Ruckie Wa Sholatha

¹Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Email : mldoko@yahoo.com

Abstract

The process to be controlled, may be noisy, i.e., subject to disturbances, and the most part of the disturbance may be unknown in character. The process and its internal disturbances may be time variable in an unknown manner. In some cases, the process may be unstable and adaptive control for these processes would be advantageous over fixed system because the parameters of adaptive systems can be adjusted to the unknown and varying requirements of the process to be controlled. In such cases, adaptivity finds an area of application in the control field. In control theory, matching the response of a process to that of a reference model is the basic for a model reference control system. It is often that a process incorporated within the model such that a step input to that model would cause its output to respond with the specified rise time. In to the model, the reference inputs are feed and it will respond in accordance with the design specifications that have been built into it. If the designer has limited knowledge about the process parameters, it would be desirable to utilize adaptive control. This kind of control will adjust the control law on-line in order to reduce the effects of unknown parameters. It also known that model reference adaptive control can be divided into two classes: (1) indirect or explicit adaptive controllers, in which on-line estimates of the process parameters are used for control law adjustment, and (2) direct or implicit, adaptive controllers, in which no effort is made to identify the process parameters; i.e., the control law is directly adjusted to minimize the error between the process and the model states outputs. And we will consider only direct model reference controllers. The concept of command generator tracker (CGT) for a process is developed in this paper. This concept can be used to facilitate adaptive control algorithm development. The CGT is a model reference control law for linear time-invariant systems with known coefficients. When perfect output tracking occurs, the corresponding state and control trajectories are defined to be ideal state and ideal control trajectories, respectively. This paper begins with discussion about perfect model following (PMF) in order to see the weakness of this kind of model. The, the command generator tracker (CGT) is defined and discussed. Next, modification for tracking of larger class of input commands is discussed. Finally, the concept of adaptive control based on CGT is discussed. And to see how the concept can be applied in the model, the paper is also furnished with an example of the application of adaptive control algorithm.

Keywords : Model reference adaptive control, command generator tracker (CGT), perfect model following (PMF), multiple inputs multiple outputs (MIMO).

1. Perfect Model Following

Many of the earlier development of state space control system were concerned with the concept of perfect model following (PMF). The

PMF controllers are designed for the following system.

$$\text{Process: } \dot{\mathbf{x}}_p = \mathbf{A}_p \mathbf{x}_p(t) + \mathbf{B}_p \mathbf{u}_p(t) \quad (1)$$

$$\text{Model: } \dot{\mathbf{x}}_m = \mathbf{A}_m \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_m \mathbf{u}_m(t) \quad (2)$$



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

With this system we are asked to find the controller applied of the following form

$$\mathbf{u}_p(t) = \mathbf{K}_c(\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_p) + \mathbf{K}_x \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{K}_u \mathbf{u}_m(t) \quad (3)$$

such that

1. If the process state vector \mathbf{x}_p is equal to the model state vector \mathbf{x}_m at some time t_1 , that is $\mathbf{x}_p(t_1) = \mathbf{x}_m(t_1)$, then $\mathbf{x}_p(t) = \mathbf{x}_m(t)$ for $t > t_1$.
2. If the process state vector \mathbf{x}_p is not equal to the model state vector \mathbf{x}_m , it should asymptotically approach the model state.

For this case, a necessary condition of PMF control is that the reference model must have the number of states as the process being controlled. Also, the design of this kind of controller is quite demanding on the process model structure. We can also shows that the controller exists if gains \mathbf{K}_u and \mathbf{K}_x can be found such that

$$(\mathbf{A}_m - \mathbf{A}_p) = \mathbf{B}_p \mathbf{K}_x \quad (4)$$

and

$$\mathbf{B}_p \mathbf{K}_u = \mathbf{B}_m \quad (5)$$

If the number of controls is equal to the number of states then generally these equations will have a solution and also, if the process and the model structure conform such that (4) and (5) have solutions.

The conditions that satisfy (4) and (5) such that they have solutions are known as the PMF conditions.

Due to the following reasons, a PMF controller is not easily implemented. First, it is usually not possible to measure all the plant states. Second, it is often that the conditions of PMF are not satisfied. To overcome these problems, we will take not the full state-following but the partial state-following, i.e., output model following. These partial states are designed such that the output vector of the process which usually of a much lower dimension then state vector tracks the model output vector with all states remaining bound. In the following section we will discuss an output model-following controller in depth as the part of CGT discussion. This output model-following controller can be used subsequently

as the basis for the development of simple adaptive controller.

2. The Command Generator Tracker Concept

The process description in eq. (1) has an $l \times 1$ output vector \mathbf{y}_p , while the model description in eq. (2) has an $l \times 1$ output vector \mathbf{y}_m , and they are described by the following equations.

$$\text{Process: } \mathbf{y}_p(t) = \mathbf{C}_p \mathbf{x}_p(t) \quad (6)$$

and

$$\text{Model: } \mathbf{y}_m(t) = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t) \quad (7)$$

The vectors \mathbf{x}_p and \mathbf{u}_p in eq. (1) are $n \times 1$ process state vector and $m \times 1$ process control vector respectively. While \mathbf{A}_p and \mathbf{B}_p are matrices with the appropriate dimensions. The vectors \mathbf{x}_m and \mathbf{u}_m in eq. (1) are $n \times 1$ process state vector and $m \times 1$ process control vector respectively. While \mathbf{A}_m and \mathbf{B}_m are matrices with the appropriate dimensions. If we assume that the range of the process parameters is to be bounded then we can write their definition in the following equations:

$$a_{ij}^{lb} \leq a_{ij}^p \leq a_{ij}^{ub}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$b_{ij}^{lb} \leq b_{ij}^p \leq b_{ij}^{ub}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Where a_{ij}^p and b_{ij}^p are the i, j th element of \mathbf{A}_p and \mathbf{B}_p respectively. Furthermore, it is assumed that:

- (a) all possible pairs \mathbf{A}_p and \mathbf{B}_p are controllable and output are stabilizable.
- (b) all possible pairs \mathbf{A}_p and \mathbf{C}_p are observable
- (c) \mathbf{B}_p has maximum rank

Based on the assumption above, then the objective is to find the control vector \mathbf{u}_p such that the process output vector \mathbf{y}_p approximates reasonable well the output (7) of the reference model (2). We must make an important note that the model is assumed to be bounded-input/bounded-state stable and the dimension of the model state may be less than the dimension of process state. Also,



since \mathbf{y}_p is to track \mathbf{y}_m , the number of model outputs must equal to the number of the process output.

The following discussion will lead us to facilitate adaptive control algorithm. To do this, it is useful to incorporate the command generator concept. This concept originates from the paper of O'Brein and Broussard which is published in 1979¹⁾. The command tracker generator is a model reference control law for linear time-invariant system with known coefficients.

The perfect output tracking occurs when $\mathbf{y}_p = \mathbf{y}_m$ for $t > 0$. If this tracking occurs, the corresponding state and control trajectories are defined to be the ideal state and ideal control trajectories, and they will denoted by \mathbf{x}_p^* and \mathbf{u}_p^* respectively. Thus, by definition, the ideal process formed satisfies the same dynamics as the real process and the output of ideal process should be defined to be identically equal to the model output.

Or we can write this fact into

$$\dot{\mathbf{x}}_p^* = \mathbf{A}_p \mathbf{x}_p^*(t) + \mathbf{B}_p \mathbf{u}_p^*(t) \text{ for all } t \geq 0 \quad (10)$$

and

$$\mathbf{y}_p^* = \mathbf{y}_m = \mathbf{C}_p \mathbf{x}_p^* = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t) \quad (11)$$

By these equations we mean that when perfect tracking occurs, the real trajectories become the ideal process trajectories. Also, the real process output becomes ideal process output and this is defined to be the model output. Mathematically, we can represent the composite vector $\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_p^*(t) & \mathbf{u}_p^*(t) \end{bmatrix}^T$ based on the assumption that the ideal trajectories are linear functions of the model state and model input, such that

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_p^*(t) \\ \mathbf{u}_p^*(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} \\ \mathbf{R}_{21} & \mathbf{R}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_m(t) \\ \mathbf{u}_m(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

In eq. (2), \mathbf{u}_m is presently restricted to be constant input; otherwise, derivatives of the model input will be required. Now, by combining the ideal process state equation

(10) with the ideal process output equation, we have

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_p^* \\ \dot{\mathbf{y}}_p^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_p & \mathbf{B}_p \\ \mathbf{C}_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_p^*(t) \\ \mathbf{u}_p^*(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

After substituting (12) into (13), we have

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_p^* \\ \dot{\mathbf{u}}_p^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_p & \mathbf{B}_p \\ \mathbf{C}_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} \\ \mathbf{R}_{21} & \mathbf{R}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_m(t) \\ \mathbf{u}_m(t) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Differentiating \mathbf{x}_p^* in (12) we find

$$\dot{\mathbf{x}}_p^* = \mathbf{R}_{11} \dot{\mathbf{x}}_m + \mathbf{R}_{12} \dot{\mathbf{u}}_m \quad (15)$$

It is the fact that \mathbf{u}_m is a constant input, (15) can be rewritten as

$$\dot{\mathbf{x}}_p^* = \mathbf{R}_{11} \dot{\mathbf{x}}_m \quad (16)$$

Substituting (2) into (16), yields

$$\dot{\mathbf{x}}_p^* = \mathbf{R}_{11} \mathbf{A}_m \mathbf{x}_m + \mathbf{R}_{11} \mathbf{B}_m \mathbf{u}_m \quad (17)$$

Now, combining (17) and (11) into a composite vector matrix equation to give

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_p^*(t) \\ \dot{\mathbf{u}}_p^*(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} \mathbf{A}_m & \mathbf{R}_{11} \mathbf{B}_m \\ \mathbf{C}_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_m(t) \\ \mathbf{u}_m(t) \end{bmatrix} \quad (18)$$

The right hand side of (14) is equal to the right hand side of (18), that is

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} \mathbf{A}_m & \mathbf{R}_{11} \mathbf{B}_m \\ \mathbf{C}_m & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_p & \mathbf{B}_p \\ \mathbf{C}_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} \\ \mathbf{R}_{21} & \mathbf{R}_{22} \end{bmatrix} \quad (19)$$

This matrix equation provides a system of linear equations to be solved for elements in the \mathbf{R}_{ij} matrices. Because the dimension of matrix in the right hand side of (19) is $(n \times l) \times (n + m)$, there are $(n \times l) \times (n + m)$ equations to be solved. If the number of controls m is greater than or equal to l , the number of output to be controlled, there at least as many unknowns as equations. This makes the command generator tracker solution almost always exists. Or, we can say that the singular situation occurs rare and in such situation it is usually possible to modify to modify theselected model parameters so that a solution can really be found.

A more easy approach to solve the matrix equation is to define a matrix that equals to the inverse of first matrix at the right hand side of equation (19), that is



$$\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{11} & \mathbf{W}_{12} \\ \mathbf{W}_{21} & \mathbf{W}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_p & \mathbf{B}_p \\ \mathbf{C}_p & 0 \end{bmatrix}^{-1} \quad (20)$$

It should be noted that this approach is not always solvable. Thus, the partitioned matrix equations to be solved are

$$\mathbf{R}_{11} = \mathbf{W}_{11}\mathbf{R}_{11}\mathbf{A}_m + \mathbf{W}_{12}\mathbf{C}_m \quad (21)$$

$$\mathbf{R}_{12} = \mathbf{W}_{11}\mathbf{R}_{11}\mathbf{B}_m \quad (22)$$

$$\mathbf{R}_{21} = \mathbf{W}_{21}\mathbf{R}_{11}\mathbf{A}_m + \mathbf{W}_{22}\mathbf{C}_m \quad (23)$$

$$\mathbf{R}_{22} = \mathbf{W}_{21}\mathbf{R}_{11}\mathbf{B}_m \quad (24)$$

The existence of the inverse matrix in (20) requires that the number of control m equal the number of output l . A pseudo inverse may be required if $m > l$. But, it is also important to note here that $m < l$ does not usually have a solution.

Equation (21) is a Lyapunov equation and the solution exists if the product of the i th eigenvalue of \mathbf{W}_{11} and the inverse of the j th eigenvalue of \mathbf{A}_m does not equal to unity for all i, j .

Now, we are going to see what will happen if the output of the process is differ from the output of the

$$\mathbf{e}_x = \mathbf{x}_p^*(t) - \mathbf{x}_p(t) \quad (25)$$

Then, the error equation is

$$\dot{\mathbf{e}}_x = \dot{\mathbf{x}}_p^* - \dot{\mathbf{x}}_p = \mathbf{A}_p \mathbf{x}_p^* + \mathbf{B}_p \mathbf{u}_p^* - \mathbf{A}_p \mathbf{x}_p - \mathbf{B}_p \mathbf{u}_p = \mathbf{A}_p \mathbf{e}_x + \mathbf{B}_p (\mathbf{u}_p^* - \mathbf{u}_p) \quad (26)$$

But if the control law is

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{u}_p^* + \mathbf{K}(\mathbf{y}_m - \mathbf{y}_p) = \mathbf{u}_p^* + \mathbf{K}\mathbf{C}_p \mathbf{e}_x \quad (27)$$

Then the error equation (26) becomes

$$\dot{\mathbf{e}}_x = (\mathbf{A}_p - \mathbf{B}_p \mathbf{K} \mathbf{C}_p) \mathbf{e}_x \quad (28)$$

From the last equation we see that the error will approach zero provided that \mathbf{K} is stabilizing output feedback gain. Also, we observe that controller is to be found that guarantees that the error approaches zero as t approaches infinity.

Since $\mathbf{x}_p(t) = \mathbf{x}_p^*(t)$, $\mathbf{C}_p \mathbf{x}_p(t) = \mathbf{C}_p \mathbf{x}_p^*(t)$, from (11), we have $\mathbf{C}_p \mathbf{x}_p^*(t) = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t)$, thus the desired result is $\mathbf{C}_p \mathbf{x}_p(t) = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t)$.

Also, we found that since $\mathbf{x}_p(t)$ approaches $\mathbf{x}_p^*(t)$ and $\mathbf{x}_p^*(t)$ is a linear combination of the model states and commands, thus the state of the process will be ultimately bounded.

Again, when the state vector is available, the perfect model-following conditions (4) and (5) are together a special case of the CGT. Also it is assumed that $\mathbf{x}_p^*(t) = \mathbf{x}_p(t)$ and the first equation of system (12) is valid, the PMF conditions imply that \mathbf{R}_{11} is an identity matrix, while \mathbf{R}_{12} is a nul matrix. The ideal plant input in the second equation of system (12) is valid, where matrices \mathbf{R}_{21} and \mathbf{R}_{22} satisfy the following equation.

$$\mathbf{A}_m - \mathbf{A}_p = \mathbf{B}_p \mathbf{R}_{21}, \quad (29)$$

$$\mathbf{B}_p \mathbf{R}_{22} = \mathbf{B}_m \quad (30)$$

When the column vector of the left hand side of (29) and the matrix at the right hand side of (30) are linearly dependent on column vectors of the matrix \mathbf{B}_p , then these equations (29) and (30) have a solution. Also, if the matrices \mathbf{R}_{21} and \mathbf{R}_{22} that satisfy (29) and (30) exists, then a PMF controllers becomes

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{u}_p^* + \mathbf{K}(\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_p), \quad (31)$$

where \mathbf{K} is a stabilizing feedback gain.

3. Modification for other Input Command

In the beginning of this section, we have noted that the adaptive control system should track various input commands that are not step inputs. It also should have an ability to track arbitrary external inputs that not generated by the command generator. As we have seen in previous section that process is represented by (1) and its output is represented by (6). In these equations, \mathbf{x}_p is the $n \times 1$ state vector; \mathbf{u}_p is the $m \times 1$ control vector; \mathbf{y}_p is the $m \times 1$ output vector; and \mathbf{A}_p , \mathbf{B}_p , and \mathbf{C}_p are matrices with appropriate dimensions. It also a necessity of the process output \mathbf{y}_p to track the output of the model \mathbf{y}_m



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

of an asymptotically stable reference model which described by (2) for its dynamics and (7) for its output. For these equations, \mathbf{x}_m is the $n \times 1$ state vector; \mathbf{u}_m is the $m \times 1$ control vector; \mathbf{y}_m is the $m \times 1$ output vector.

The reference model is designed to meet some desired performance and has the same number of outputs as the process. But it is independent of the controlled process.

Now, define the output tracking error as

$$\mathbf{e}_y = \mathbf{y}_m(t) - \mathbf{y}_p(t) \quad (32)$$

and also, consider the controller of the form

$$\mathbf{u}_p(t) = \tilde{\mathbf{K}}_e \mathbf{e}_y(t) + \tilde{\mathbf{K}}_x \mathbf{x}_m(t) + \tilde{\mathbf{K}}_u \mathbf{u}_m(t) \quad (33)$$

Where $\tilde{\mathbf{K}}_e$ is the unknown stabilizing output feedback matrix while, $\tilde{\mathbf{K}}_x$ and $\tilde{\mathbf{K}}_u$ are the some ideal controller gain to be defined subsequently.

The reference model is designed to meet some desired performance properties and has the same number of outputs as the process, but independent of the controlled process. Thus it is permissible to have the number of n is the same as the number of process inputs but is far greater than the model inputs and can be written mathematically as

$$n = \dim(\mathbf{x}_p) \gg \dim(\mathbf{x}_m) = n_m \quad (34)$$

In many cases, the reference model has lower order compared to the controlled process, it cannot be assumed to follow the state of the model. Thus, the process outputs must track asymptotically the output of the model.

In order to allow the perfect tracking, one must get a measure for the complexity of the acceptable commands. Thus it will represent the input command $\mathbf{u}_m(t)$ as the output signal of an unknown command-generating system of the form

$$\dot{\mathbf{v}}_m(t) = \mathbf{A}_v \mathbf{v}_m(t) \quad (35)$$

$$\mathbf{u}_m(t) = \mathbf{C}_v \mathbf{v}_m(t) \quad (36)$$

where \mathbf{v}_m is the command state vector. This representation is only used for the subsequent analysis. The matrices \mathbf{A}_v and \mathbf{C}_v

are unknown and only the input vector $\mathbf{u}_m(t)$ is permitted. Thus, the commands $\mathbf{u}_m(t)$ are represented as generalized Fourier terms.

If the reference model defined by (2) is supplied with the input defined by (35) and (36), then its response can be represented as the sum of general and particular solution, i.e.:

$$\mathbf{x}_m(t) = \mathbf{E} \mathbf{v}_m(t) + e^{\mathbf{A}_m t} \boldsymbol{\xi}_0 \quad (37)$$

and

$$\boldsymbol{\xi}_0 = \mathbf{x}_m(0) - \mathbf{E} \mathbf{v}_m(0) \quad (38)$$

By substituting (38) into model dynamic shows that the constant matrix \mathbf{E} satisfies the following relation²⁾

$$\mathbf{A}_m \mathbf{E} - \mathbf{E} \mathbf{A}_v + \mathbf{B}_m \mathbf{C}_v = \mathbf{0} \quad (39)$$

It should be noted that the stable model dynamic, with input command defined by (35) and (36) always have a solution. Also, that if \mathbf{A}_m and \mathbf{A}_v both have the same dimension, then a unique solution to (39) can be guaranteed if \mathbf{A}_m and \mathbf{A}_v have no common eigenvalues^{2,3,4,5)}.

If the process is perfectly tracking the model, i.e., when outputs of the process are the same as the outputs of the model, the control law (33) becomes ideal control, i.e.:

$$\mathbf{u}_p^*(t) = \tilde{\mathbf{K}}_x \mathbf{x}_m(t) + \tilde{\mathbf{K}}_u \mathbf{u}_m(t) \quad (40)$$

Because of this, the process state will be moving along the ideal trajectories $\mathbf{x}_p^*(t)$ of the form

$$\mathbf{x}_p^*(t) = \mathbf{Q}_{11} \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{Q}_{12} \mathbf{u}_m(t) \quad (41)$$

The last equation (41) is satisfied if the process is perfectly tracking the model, i.e.:

$$\mathbf{y}_p^*(t) = \mathbf{C}_p \mathbf{x}_p^*(t) = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t) = \mathbf{y}_m(t) \quad (42)$$

We do not know whether the perfect following is possible or whether the ideal value of process state and control both satisfies the process dynamic (1) and its output (6). But the differentiation of (41) with the aid of (36) and comparison to the process equations (1) and (6) will leads to



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

$$\left[(\mathbf{A}_p \mathbf{Q}_{11} - \mathbf{Q}_{11} \mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p \tilde{\mathbf{K}}_x) \mathbf{E} + \mathbf{A}_p \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v - \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v \mathbf{A}_v - \mathbf{Q}_{11} \mathbf{B}_m \mathbf{C}_v + \mathbf{B}_p \tilde{\mathbf{K}}_u \mathbf{C}_v \right] \mathbf{v}_m(t) = 0 \quad (43)$$

And

$$\left[(\mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{11} - \mathbf{C}_m) \mathbf{E} + \mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v \right] \mathbf{v}_m(t) = 0 \quad (44)$$

If (43) and (44) are satisfied then the ideal curves satisfy the desired condition asymptotically, i.e.:

$$\dot{\mathbf{x}}_p^* = \mathbf{A}_p \mathbf{x}_p^*(t) + \mathbf{B}_p \mathbf{u}_p^*(t) - (\mathbf{A}_p \mathbf{Q}_{11} - \mathbf{Q}_{11} \mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p \tilde{\mathbf{K}}_x) e^{\mathbf{A}_m t} \boldsymbol{\xi}_0 \quad (45)$$

and

$$\mathbf{y}_p^*(t) = \mathbf{y}_m(t) + (\mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{11} - \mathbf{C}_m) e^{\mathbf{A}_m t} \boldsymbol{\xi}_0 \quad (46)$$

Next, for notational convenience, we define

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_{11} \mathbf{E} + \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v \quad (47)$$

$$\mathbf{K} = \tilde{\mathbf{K}}_x \mathbf{E} + \tilde{\mathbf{K}}_u \mathbf{C}_v \quad (48)$$

And by substituting these last equations (47) and (48) into (43) and (44), we have

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_p & \mathbf{B}_p \\ \mathbf{C}_p & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{Q} \\ \mathbf{K} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} \mathbf{A}_v \\ \mathbf{C}_m \mathbf{E} \end{bmatrix} \quad (49)$$

This last equation (49) has a unique solution if the process does not has transmission zero at the origin, i.e., $s=0$ and if no transmission zero of the process is equal to an eigenvalue of the command matrix $\mathbf{A}_v^{1,6,7}$. The solution of

$\tilde{\mathbf{K}}_x$ and $\tilde{\mathbf{K}}_u$ exists in general, only if the number equations is not larger than the number of variables, or mathematically

$$\dim(\mathbf{v}_m) \leq \dim(\mathbf{u}_m) + \dim(\mathbf{x}_m) \quad (50)$$

The last equation (50) will restrict the complexity of input command so it can be handled when the perfect tracking is sought.

$$\mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{11} \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{12} \mathbf{u}_m(t) = \mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{11} \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v \mathbf{v}_m(t) = \mathbf{C}_m \mathbf{x}_m(t) \quad (51)$$

Thus, we will have

$$\mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{11} = \mathbf{C}_m \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_p \mathbf{Q}_{12} \mathbf{C}_v = \mathbf{0} \quad (52)$$

In general, the solutions for \mathbf{Q}_{11} and \mathbf{Q}_{12} exists and it can be obtained from (52), because this system consists of more variables than equations. The existence of some bounded trajectories in process state space that the process needs to attain for perfect tracking is implied by this result. It also mentioned before that the ideal control configuration is defined in (40) can make the process move

In the following section it will be shown that conditions given by (47) - (50) can be eliminated if bounder error is permitted rather than asymptotically perfect tracking.

4. The Concept of Adaptive Control based on CGT

In this section we will begin with the general tracking problem and it is followed by the stability concept as applied to CGT and at the end of this section we will discuss the Adaptive Control based on CGT algorithmically.

General Tracking Problem We have seen in the previous section that if the process could reach and move along the trajectories, then its output would perfectly track the output of the model as indicated by (42). Also the ideal trajectories are defined by (43). Substituting (43) into (42) gives the condition of existence of ideal target trajectories:

along the ideal target trajectories. Or in other words, we may ask whether there are trajectories of the process that, when driven by the ideal control (40), become ideal trajectories or, alternatively, whether the ideal trajectories satisfy the process differential equation.

Now, by differentiating $\mathbf{x}_p^*(t)$ (42), we have



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

$$\dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = \mathbf{Q}_{11}\dot{\mathbf{x}}_m(t) + \mathbf{Q}_{12}\dot{\mathbf{u}}_m(t) = \mathbf{Q}_{11}\mathbf{A}_m\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{Q}_{11}\mathbf{B}_m\mathbf{v}_m(t) + \mathbf{Q}_{12}\mathbf{C}_v\mathbf{A}_v\mathbf{v}_m(t) \quad (53)$$

And to satisfy the process equation in the ideal case, the ideal trajectories would have to satisfy the process equation as indicated in (10), then by using the ideal control configuration in (40) and also substituting (43) into (40), we have

$$\dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = \mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{11}\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{12}\mathbf{u}_m(t) + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u\mathbf{u}_m(t) \quad (54)$$

Now, we are going to check how close the process trajectories can be to the ideal trajectory. To do this, we must add the right hand side of (10) to (53) and then subtracts the right hand side of (54), and we will get

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = & \mathbf{Q}_{11}\mathbf{A}_m\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v\mathbf{v}_m(t) + \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v\mathbf{A}_v\mathbf{v}_m(t) + \mathbf{A}_p\mathbf{x}_p^*(t) + \mathbf{B}_p\mathbf{u}_p^*(t) \\ & - \mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{11}\mathbf{x}_m(t) - \mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{12}\mathbf{u}_m(t) - \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u\mathbf{u}_m(t) \end{aligned} \quad (55)$$

We can write this last equation in the simple for as

$$\dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = \mathbf{A}_p\mathbf{x}_p^*(t) + \mathbf{B}_p\mathbf{u}_p^*(t) - \mathbf{E}(t) \quad (56)$$

Where

$$\mathbf{E}(t) = (\mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{11} - \mathbf{Q}_{11}\mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x)\mathbf{x}_m(t) + (\mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{12}\mathbf{C}_v + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u - \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v - \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v\mathbf{A}_v)\mathbf{v}_m(t) \quad (57)$$

It is possible for perfect tracking whenever it is possible the bias term of $\mathbf{E}(t)$, or whenever $\mathbf{E}(t) = \mathbf{0}$. Since the last equation (57) must hold for any \mathbf{u}_m and \mathbf{x}_m , $\tilde{\mathbf{K}}_x$ and $\tilde{\mathbf{K}}_u$ must satisfy the first term in the right hand side of (57)

$$\mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{11} - \mathbf{Q}_{11}\mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x = \mathbf{0} \quad (58)$$

And the second term, that is,

$$\mathbf{A}_p\mathbf{Q}_{12}\mathbf{C}_v + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u\mathbf{C}_v - \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v - \mathbf{Q}_{12}\mathbf{B}_m\mathbf{C}_v\mathbf{A}_v = \mathbf{0} \quad (59)$$

These conditions contain many more equations than variables, thus, it does not, in general, have a solution, as expected. So, we can not guarantee that the perfect tracking is attainable for any arbitrary input commands. Thus, it may not be even desirable to seek perfect tracking for any possible input commands, such as, for example, any high-frequency disturbance signals that may occasionally appear at the process input. So,

the ideal trajectories are only targets that the process tries to reach or at least be close to, in order to have bounded tracking errors which hopefully are as small as possible.

In the development of input, it is assumed that $\mathbf{u}_m(t)$ is generated by the differential equations (35) and (36), and it means that $\mathbf{u}_m(t)$ is differentiable. If this particular assumption is removed, except its boundedness, from $\mathbf{u}_m(t)$, it will be not even be differentiable. For the development of robustness, it is possible to seek the the following target trajectories

$$\mathbf{x}_p^*(t) = \mathbf{Q}\mathbf{x}_m(t) \quad (60)$$

In this manner $\dot{\mathbf{x}}_p^*(t)$ remains differentiable, thus differentiating (60) will give

$$\dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = \mathbf{Q}\dot{\mathbf{x}}_m(t) = \mathbf{Q}\mathbf{A}_m\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{Q}\mathbf{B}_m\mathbf{u}_m(t) \quad (61)$$

Substituting (60) into (42) will tell us that the bounded ideal target trajectories exists if the first equation of (52), has a solution for matrix \mathbf{Q} if

$$\text{rank}[\mathbf{C}_p\mathbf{C}_m] = \text{rank}[\mathbf{C}_p] \quad (62)$$

in general is satisfied since the system has more variables than equations. Especially if the number of process states greatly exceeds the number of model states.

Perfect tracking with ideal control indicated by (40), now, be considered again with respect to whether the ideal trajectories can satisfy the process differential equation (10). By substituting (40) and (60) into (10), we have

$$\dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = \mathbf{A}_p\mathbf{Q}\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u\mathbf{u}_m(t) \quad (63)$$

Next, adding the right hand side of (10) to (61) and then subtracting it from the right hand side of (63), gives

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_p^*(t) = & \mathbf{Q}\mathbf{A}_m\mathbf{x}_m(t) + \mathbf{Q}\mathbf{B}_m\mathbf{u}_m(t) + \mathbf{A}_p\mathbf{x}_p^*(t) + \mathbf{B}_p\mathbf{u}_p^*(t) - \\ & \mathbf{A}_p\mathbf{Q}\mathbf{x}_m(t) - \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x\mathbf{x}_m(t) - \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u\mathbf{u}_m(t) \end{aligned} \quad (64)$$

If we take

$$\mathbf{E}(t) = (\mathbf{A}_p\mathbf{Q} - \mathbf{Q}\mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_x)\mathbf{x}_m(t) + (\mathbf{B}_p\tilde{\mathbf{K}}_u - \mathbf{Q}\mathbf{B}_m)\mathbf{u}_m(t) \quad (65)$$

Thus, the ideal trajectories can be process trajectories and the perfect tracking is



possible it $\mathbf{E}(t) = \mathbf{0}$, and since this fact holds for any \mathbf{u}_m and \mathbf{x}_m ; then we must have

$$\mathbf{A}_p \mathbf{Q} - \mathbf{Q} \mathbf{A}_m + \mathbf{B}_p \tilde{\mathbf{K}}_x = \mathbf{0} \quad (66)$$

and

$$\mathbf{B}_p \tilde{\mathbf{K}}_u - \mathbf{Q} \mathbf{B}_m = \mathbf{0} \quad (67)$$

Conditions which are given by (66) and (67) must be satisfied by the matrices $\tilde{\mathbf{K}}_x$ and $\tilde{\mathbf{K}}_u$, which in general, contain more equation than variables. The analysis above can be used for further development of the extension of the basic adaptive algorithm.

5. Adaptive Control Based on Command Generator Tracker: Controller Structure

The basic algorithm presented in this subsection is described for direct model reference adaptive controller (direct MRAC) of the multiple inputs multiple outputs (MIMO) systems which do not satisfy the PMF. It is also that the algorithm assumes that the controllable processes are almost strictly positive real (ASPR).

From previous subsection we can write the following Command Generator Tracker control for the process with known parameters as follows

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{R}_{21} \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{R}_{22} \mathbf{u}_m(t) + \mathbf{K}(\mathbf{y}_m(t) - \mathbf{y}_p(t)) \quad (68)$$

Now, choose an adaptive control law which has similar form to the CGT control law, that is

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{K}_x \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{K}_u \mathbf{u}_m(t) + \mathbf{K}_e(\mathbf{y}_m(t) - \mathbf{y}_p(t)) \quad (69)$$

If we substitute the definition in equation (11), i.e., $\mathbf{y}_m(t) = \mathbf{y}_p^*(t)$ into (69), we have

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{K}_x \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{K}_u \mathbf{u}_m(t) + \mathbf{K}_e(t) \mathbf{C}_p \mathbf{e}_x(t) \quad (70)$$

where the gains \mathbf{K}_x , \mathbf{K}_u and \mathbf{K}_e are adaptive.

Next, we have to simplify the computations, so that the adaptive gains are concatenated into $m \times n_r$ matrix \mathbf{K}_r , which is defined as

$$\mathbf{K}_r(t) = [\mathbf{K}_e(t) \quad \mathbf{K}_x(t) \quad \mathbf{K}_u(t)] \quad (71)$$

Also, we have to define the vector $\mathbf{r}(t)$ such that the states are put into respective

locations in it. This vector has a dimension of $n_r \times 1$, that is

$$\mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_p \mathbf{e}_x(t) \\ \mathbf{x}_m(t) \\ \mathbf{u}_m(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_m(t) - \mathbf{y}_p(t) \\ \mathbf{x}_m(t) \\ \mathbf{u}_m(t) \end{bmatrix} \quad (72)$$

so that

$$\mathbf{u}_p(t) = \mathbf{K}_r(t) \mathbf{r}(t) \quad (73)$$

In the above equations, $\mathbf{K}_r(t)$ is defined as the sum of a proportional gain $\mathbf{K}_p(t)$ and an integral gain $\mathbf{K}_I(t)$ and each is adapted as follows:

$$\mathbf{K}_r(t) = \mathbf{K}_p(t) + \mathbf{K}_I(t) \quad (74)$$

$$\mathbf{K}_p(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{r}^T(t) \mathbf{T} \quad (75)$$

$$\dot{\mathbf{K}}_I(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{r}^T(t) \bar{\mathbf{T}} \quad (76)$$

$$\mathbf{K}_I(0) = \mathbf{K}_{I0} \quad (77)$$

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{C}_p \mathbf{e}_x(t) = (\mathbf{y}_m - \mathbf{y}_p) \quad (78)$$

where \mathbf{T} and $\bar{\mathbf{T}}$ are $n_r \times n_r$ time-invariant weighing matrices, \mathbf{K}_{I0} is the initial integral gain, and \mathbf{C}_p is the time-invariant $m \times n$ process output matrix. The selection of weighing matrices \mathbf{T} and $\bar{\mathbf{T}}$ and process output matrix \mathbf{C}_p is limited by the sufficient conditions for stability.

Now, we can express the above gain equations in their partitioned form, i.e.:

$$\mathbf{K}_e(t) = \mathbf{K}_{Ie}(t) + \mathbf{K}_{pe}(t) \quad (79)$$

$$\mathbf{K}_x(t) = \mathbf{K}_{Ix}(t) + \mathbf{K}_{px}(t) \quad (80)$$

$$\mathbf{K}_u(t) = \mathbf{K}_{Iu}(t) + \mathbf{K}_{pu}(t) \quad (81)$$

Where

$$\dot{\mathbf{K}}_{Ie}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{e}^T(t) \mathbf{T}_e, \quad \mathbf{T}_e > 0 \quad (76)$$

$$\mathbf{K}_{pe}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{e}^T(t) \bar{\mathbf{T}}_e, \quad \bar{\mathbf{T}}_e \geq 0 \quad (77)$$

$$\dot{\mathbf{K}}_{Ix}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{x}_m^T(t) \mathbf{T}_x, \quad \mathbf{T}_x > 0 \quad (78)$$

$$\mathbf{K}_{px}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{x}_m^T(t) \bar{\mathbf{T}}_x, \quad \bar{\mathbf{T}}_x \geq 0 \quad (79)$$

$$\dot{\mathbf{K}}_{Iu}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{u}_m^T(t) \mathbf{T}_u, \quad \mathbf{T}_u > 0 \quad (80)$$

$$\mathbf{K}_{pu}(t) = \mathbf{v}(t) \mathbf{u}_m^T(t) \bar{\mathbf{T}}_u, \quad \bar{\mathbf{T}}_u \geq 0 \quad (81)$$

We must make a note that (19) and (20) assume that the number of controls, denoted by m , is equal to the number of outputs, denoted by q . If m is greater than q then another output can be included or a control might be eliminated. We can take another



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

alternative that we might linearly combine two controls.

6. Results and Discussions

Results come from the hypotetic plant and its model which can be described by the single equation

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (82)$$

For plant the matrix coefficients will vary with the following inequality

$$-10.15 \leq a_{11} \leq -3.50, \quad 0.9957 \leq a_{21} \leq 0.9996 \\ 14.75 \leq b_1 \leq 77.50$$

For model

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10 & 0 \\ 1.0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 22 \\ 0 \end{bmatrix}$$

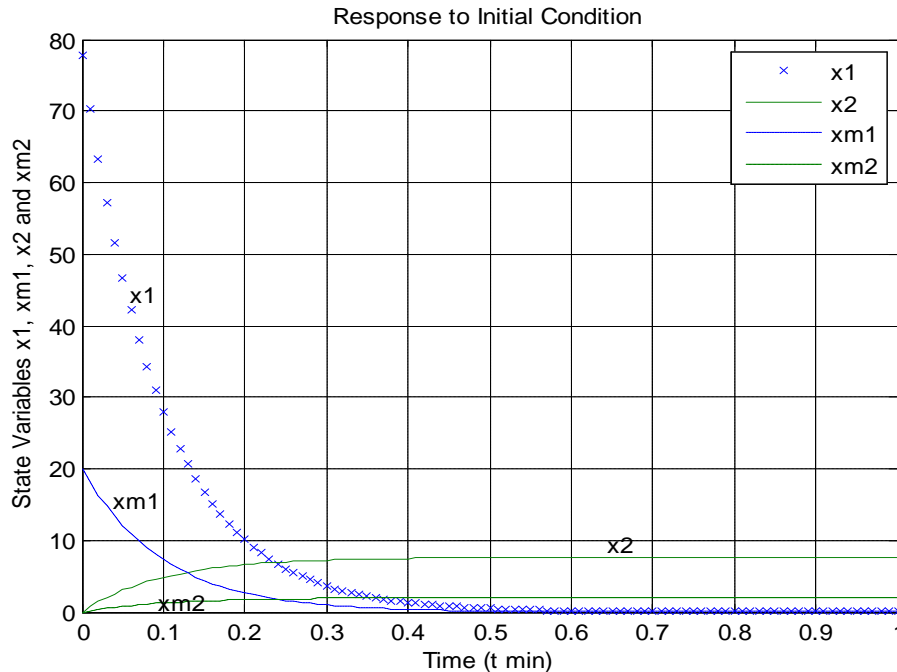


Figure 1. Response to initial condition by the process and the model

The response to initial condition is shown in Figure 1.

Based on the assumption discussed above, then the objective is to find the control vector \mathbf{u}_p such that the process output vector \mathbf{y}_p approximates reasonable well the output of the reference model. We must make an important note that the model is assumed to be bounded-input/bounded-state stable and the dimension of the model state may be less than the dimension of process state. Also, since \mathbf{y}_p is to track \mathbf{y}_m , the number of model outputs must equal to the number of the process output. The basic procedure is described for direct model reference adaptive controller (direct MRAC) of the multiple inputs multiple outputs (MIMO) systems which do not satisfy the PMF. It is also shown

that the procedure assumes that the controllable processes are almost strictly positive real (ASPR).

Finally, the concept derived in this paper can be combined to the concepts suggested by the author^(8,9) to be applied in the real process control systems.

7. References

- M.O'Brien and J. Broussard, "Feed-forward control to track the output of a forced model", Proceedings of the 17th IEEE Conference on Decision and Control, (San Diego), pp. 1149-1155, January 1975.
- R. E. Skelton, "Dynamic System sControl", New York: John Wiley 1988



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Donald R. Coughanowr, "Process Systems Analysis and Control", New York: McGraw Hill 1992
- William L. Luyben, "Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers", 2nd Ed, New York: McGraw Hill 1999
- Ashish Tewari, "Modern Control Design", New York: John Wiley 2002
- E. Davison and S. Wang, Properties of Linear time-invariant multi-variable Systems subject to arbitrary output of the state feedback, IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. AC-18,no.5, pp. 24, 1974
- A. Baraud, "A numerical algorithm to solve $A^T X A - X = Q$ ", IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. AC-22,no.5, pp. 883, 1977
- Marthen Luther Doko, "The Concept of Principal Component Analysis in Chemical Process Systems: Realizability and Controllability Evaluation", Asia Pasific Symposium on Chemical Engineering, December 2013, Bohol Philipine
- Marthen Luther Doko, "The Concept of Principal Component Analysis in Chemical Process Systems: Model Reduction", Asia Pasific Symposium on Chemical Engineering, December 2013, Bohol Philipine



**THE CONCEPT OF DISTURBANCE DECOUPLING PROBLEM WITH INTERNAL STABILITY IN
PROCESS CONTROL: DISTILLATION COLUMN CONTROL CASE**

Marthen Luther Doko^{1*}, Ruckie Wa Sholatha

¹Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Email : marthld@yahoo.co.id

Abstract

In this paper, the author will examine the concept of internal stability of a feedback loop. Based on this concept it is necessary to proceed with Disturbance Decoupling Problem because in many process control problem where the main objective is to decouple one or more outputs from one or more inputs can be posed as the disturbance decoupling problem with internal stability. The decoupling objective in this kind of problem amounts to making the controlled output independent of disturbance input. In this paper the author showed that if the number of control inputs is greater than the number of controlled outputs and if the disturbance inputs is less than the number of measured outputs, then Disturbance Decoupling Problem with Internal stability is almost always solvability. Distillation column is a fundamental device in chemical process industries for separation of two or more components with different vapor pressures at any given temperature. The mathematical model of a distillation column will involve many inputs and many outputs so that it can be examined if it is possible to decouple the input from the output. It is also straightforward to check the composite plant of this model is controllable or observable. It is shown also that the pair and triple matrices resulted in decoupling problem is bicoprime over the ring of stable transfer functions so that disturbance decoupling problem with internal stability and disturbance decoupling problem with stronger internal stability are equivalent problems and consequently we can use these results to check the solvability of the model.

Keywords: Disturbance Decoupling Problem, Internal Stability, Distillation Column Control, mathematical model, pair and triple matrices, bicoprime, the ring of stable transfer functions, solvability

1. Introduction

Many control problems in chemical process systems, in which the main objective is to decouple one or more outputs from one or more inputs, can be posed as the main problem of paper, i.e., Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability. This problem can be described by the following two-channel system in Figure 1.1. For this system we see the transfer matrix

$$\mathbf{T}_p = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{11} & \mathbf{T}_{12} \\ \mathbf{T}_{21} & \mathbf{T}_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

of Σ , where \mathbf{T}_{11} is strictly proper in $\mathbf{P}^{p \times m}$, $\mathbf{T}_{12} \in \mathbf{P}^{p \times n}$, $\mathbf{T}_{21} \in \mathbf{P}^{q \times m}$, and $\mathbf{T}_{22} \in \mathbf{P}^{q \times n}$, determine a

compensator $\mathbf{T}_c \in \mathbf{P}^{m \times p}$ such that in the closed-loop system the pair $\{\mathbf{T}_{11}, \mathbf{T}_c\}$ is internally stable and the disturbance input-to-controlled output transfer matrix

$$\mathbf{T}_{dc} = \mathbf{T}_{22} - \mathbf{T}_{21}\mathbf{T}_c(\mathbf{I} + \mathbf{T}_{11}\mathbf{T}_c)^{-1}\mathbf{T}_{12} \quad (2)$$

is identically zero.

For this problem, the decoupling objective $\mathbf{T}_{dc} = 0$ in Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability is to make the controlled output y_c independent of the disturbance input u_d in Figure 1. It is important to Control engineer that the dynamics with which the

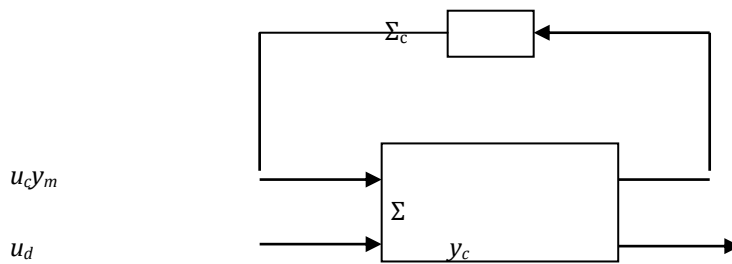


Figure 1. Two-channel Feedback System

disturbance input u_d itself is generated has no relevance in this problem. This paper is divided into five sections. In Section 1, we consider the definition of the problem. In Section 2, we consider the simpler version of this problem which is the application of this problem to estimation problem. In Section 3, we are exploring a necessary and sufficient condition for the solvability of the problem in terms of the solvability of a linear matrix equation of the form $AXB = C$. Finally, in Section 4 we discuss will discuss certain

genericity aspects of the problem and it will focus on distillation column.

2. Estimation Problem in A Disturbance Decoupled Estimation Problem

For estimation problem, consider the open-loop system in Figure 2. The system is driven by the disturbance input d and difference e between the output channel y_2 and the estimate \hat{y}_1 of y_1 is to be made zero.

The observer that produces \hat{y}_1 out of y_1 is to be a stable system, i.e., the observer transfer matrix Z_0 should be over S .

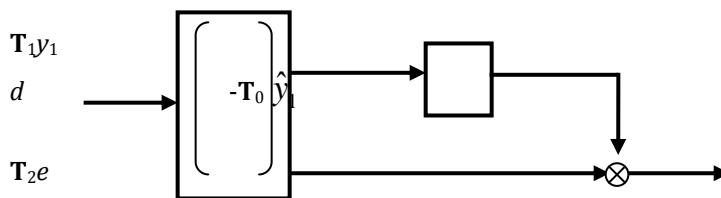


Figure 2. Disturbance Decoupling Estimation

First, take

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} Q_{11}^{-1} \quad (3)$$

as the right coprime fractional representation of the sistem transfer function matrix over S . This fact leads us to the a solution Z_0 of the system if and only if the matrix equation

$$P_2 = T_0 P_1 \quad (4)$$

over S is solvable. Any solution to this equation is also a solution to the disturbance decoupled estimation problem. If we do an analysis for the matrix in equation (4), it will reveals that the zero

structure of the system has a solution. Now, observe that a necessary condition for the solvability of the problem is that the system $\Sigma_1 = (P_1, Q_{11}, I, 0)$ must have no unstable output decoupling zeros because equation (4) implies that any common right factor of (P_1, Q_{11}) and it will be also a right factor of P_2 . It means that the right coprimeness of the set (P_1, P_2, Q_{11}) explains that the $\text{gcrf}(P_1, Q_{11})$ is unimodular and $T_1 = P Q_{11}^{-1}$ is a right coprime fraction and that the



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

unstable invariant zeros of Σ_1 are the unstable invariant zeros of \mathbf{P}_1 . Now, suppose that \mathbf{V} and \mathbf{W} be some unimodular matrices such that

$$\mathbf{V}\mathbf{P}_1\mathbf{W} = \mathbf{S}_1 \quad (5)$$

where \mathbf{S}_1 is the Smith normal form of \mathbf{P}_1 and let π_i ; for $i = 1, \dots, k$ be the invariant factors of \mathbf{P}_1 with $k = \text{rank}(\mathbf{P}_1)$. Also let

$$\bar{\mathbf{P}}_2 = \mathbf{P}_2\mathbf{W} \quad (6)$$

Then \mathbf{T}_0 is a solution to equation (4) if and only if it is a solution to $\bar{\mathbf{P}}_2 = \mathbf{T}_0\mathbf{S}_1$. The latter equation is solvable if and only if π_i is a common factor of the entries in the i -th column of $\bar{\mathbf{P}}_2$ for $i = 1, 2, \dots, k$ and the remaining columns of $\bar{\mathbf{P}}_2$ are all zero. We thus arrive at the following conclusion that the disturbance decoupled estimation is possible in the system of Figure 2 if and only if (a) there are no unstable output decoupling zeros of $\Sigma_1 = (\mathbf{P}_1, \mathbf{Q}_{11}, \mathbf{I}, \mathbf{0})$, (b) there is $\bar{\mathbf{P}}_2$ such that for $i = 1, 2, \dots, k$, the i -th unstable invariant zeros of Σ_1 are also zeros of each element in the i -th column of $\bar{\mathbf{P}}_2$ including its multiplicities, (c) the remaining columns of $\bar{\mathbf{P}}_2$ should be identically zero.

3. The Problem of Disturbance Decoupling

Now we are considering Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability which can be reformulated as the problem for determining $\mathbf{X} \in \mathcal{S}^{m \times p}$ with

$$\mathbf{T}_{dc}(\mathbf{X}) = \mathbf{0} \quad (7)$$

This problem will determine a value of \mathbf{X} for which one element of the set \mathbf{T}_{dc}^{ISP} is zero.

If we are given the bicoprime fractional representation of the transfer matrix of two-channel process, i.e.,

$$\mathbf{T}_p = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 \\ \mathbf{P}_2 \end{bmatrix} \mathbf{Q}_{11}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{U} & \mathbf{U}_{12} \\ \mathbf{U}_{21} & \mathbf{U}_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{cr}(\mathbf{X}) \\ \mathbf{P}_{cr}(\mathbf{X}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{M} + (\mathbf{P}\mathbf{M} - \mathbf{U}\mathbf{N})\mathbf{N}_1 & -\mathbf{P}_R + \mathbf{U}\mathbf{Q}_r \\ \mathbf{N}\mathbf{N}_1 & \mathbf{Q}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{X} \end{bmatrix} \quad (17)$$

and suppose

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}\mathbf{C}_1, \mathbf{Q}_{11} = \mathbf{Q}_1\mathbf{C}_1 \quad (9)$$

where $(\mathbf{P}_1, \mathbf{Q}_1)$ is right coprime and let \mathbf{D} and \mathbf{Q} are matrices, then

$$\mathbf{Q}_1 = \mathbf{D}\mathbf{Q}, \mathbf{R}_1 = \mathbf{D}\mathbf{R} \quad (10)$$

where (\mathbf{Q}, \mathbf{R}) is left coprime. Now, we can write

$$\mathbf{P}_2\mathbf{C}_1^{-1} = \bar{\mathbf{C}}_1^{-1}\mathbf{Z}, \mathbf{D}^{-1}\mathbf{R}_2 = \mathbf{S}\bar{\mathbf{D}}^{-1},$$

where each fraction is coprime. Let $\mathbf{K}, \mathbf{L}, \mathbf{N}_1, \mathbf{M}_1, \mathbf{M}, \mathbf{N}, \mathbf{L}_r, \mathbf{K}_r$ be some matrices that satisfy the matrix equalities

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K} & -\mathbf{L} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{Q}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{N}_1 \\ -\mathbf{P} & \mathbf{M}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (11)$$

and

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{R} \\ -\mathbf{L}_r & \mathbf{K}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{M} & -\mathbf{P}_r \\ \mathbf{N} & \mathbf{Q}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (12)$$

and finally we get

$$\mathbf{T} = (\mathbf{P}\mathbf{P}_r + \mathbf{U}\mathbf{Q}_r) \mathbf{Q}_r^{-1} = \mathbf{Q}_r^{-1}(\mathbf{R}_1\mathbf{R} + \mathbf{Q}_1\mathbf{U}) \quad (13)$$

Now, define $\mathbf{F}_{12}, \mathbf{F}_{21}, \mathbf{G}_{12}, \mathbf{G}_{21}$ by

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{G}_{12} &:= \mathbf{K}\mathbf{S} - \mathbf{L}\mathbf{U}_{12}\bar{\mathbf{D}}, \\ \mathbf{G}_{21} &:= \mathbf{Z}\mathbf{M} - \bar{\mathbf{C}}_1\mathbf{U}_{21}\mathbf{N}, \\ \mathbf{F}_{12} &:= \mathbf{R}_1\mathbf{S} + \mathbf{Q}_1\mathbf{U}_{12}\bar{\mathbf{D}}, \\ \mathbf{F}_{21} &:= \mathbf{Z}\mathbf{P}_r + \bar{\mathbf{C}}_1\mathbf{U}_{21}\mathbf{Q}_r, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

By the expression

$$\mathbf{T}_{dc}(\mathbf{X}) = \bar{\mathbf{C}}_1^{-1}(\mathbf{Z}\mathbf{G}_{12} + \mathbf{G}_{21}\mathbf{S} - \mathbf{G}_{21}\mathbf{Q}\mathbf{G}_{21} + \bar{\mathbf{C}}_1\mathbf{U}_{22}\bar{\mathbf{D}} - \mathbf{F}_{21}\mathbf{X}\mathbf{F}_{21})\bar{\mathbf{D}}^{-1} \quad (15)$$

for $\mathbf{T}_{dc}(\mathbf{X})$, we immediately obtain the following matrix equation formulation for the solvability of DDPIS, i.e., the following proposition.

PROPOSITION 1. DDPIS is solvable if and only if there exists $\mathbf{X} \in \mathcal{S}^{m \times p}$ satisfying

$$\mathbf{F}_{21}\mathbf{X}\mathbf{F}_{12} = \mathbf{Z}\mathbf{G}_{12} + \mathbf{G}_{21}\mathbf{S} - \mathbf{G}_{21}\mathbf{Q}_1\mathbf{2} + \bar{\mathbf{C}}_1\mathbf{U}_{22}\bar{\mathbf{D}}, \quad (16)$$

Every solution \mathbf{X} of Equation (16) produces a solution $\mathbf{T}_c = \mathbf{T}_{cr}(\mathbf{X})$ for Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability, where $\mathbf{T}_{cr}(\mathbf{X})$ is given



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

And

$$\mathbf{T}_{cr} = \{\mathbf{T}_{cr}(\mathbf{X}) = \mathbf{P}_{cr}(\mathbf{X})\mathbf{Q}_{cr}(\mathbf{X})^{-1}; \mathbf{X} \in \mathbf{S}^{m \times p}\} \quad (18)$$

$$\mathbf{T}_{cl} = \{\mathbf{T}_{cl}(\mathbf{Y}) = \mathbf{Q}_{cl}(\mathbf{Y})^{-1}\mathbf{R}_{cl}(\mathbf{Y}); \mathbf{Y} \in \mathbf{S}^{m \times p}\} \quad (19)$$

Regarding its implication to the pole-zero structure of the open-loop plant are not transparent, the condition of Proposition 1

$$\mathbf{J}_{12} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{S} \\ -\mathbf{P} & \mathbf{U}_{12}\mathbf{D} \end{bmatrix}, \mathbf{J}_{21} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{R} \\ -\mathbf{Z} & \mathbf{C}_1\mathbf{U}_{21} \end{bmatrix}, \mathbf{J}_{22} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{S} \\ -\mathbf{Z} & \mathbf{C}_1\mathbf{U}_{22}\mathbf{D} \end{bmatrix} \quad (20)$$

The main result of this section is the following theorem.

THEOREM 2. Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability is solvable if and only if there exists a solution

$\hat{\mathbf{X}} \in \mathbf{S}^{(r+m) \times (r+p)}$ to the equation

$$\hat{\mathbf{J}}_{21}\hat{\mathbf{X}}\hat{\mathbf{J}}_{12} = \hat{\mathbf{J}}_{22} \quad (21)$$

The consequence of Theorem 2 is that a necessary condition for the solvability of Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability is that the system $\Sigma_{11} := \{\mathbf{P}_1, \mathbf{Q}_{11}, \mathbf{R}_1, \mathbf{U}\}$ is free of unstable input-output decoupling. Because the compensator can only stabilize the observable and reachable modes of Σ_{11} , then these modes must appear among the poles of the closed-loop system, i.e., \mathbf{T}_{dc} cannot be made zero.

If the internal stability requirement is that of $(\mathbf{T}_p, \mathbf{T}_c)$, rather than the weaker requirement that $(\mathbf{T}, \mathbf{T}_c)$ is internally stable, leads us to the following version of Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability, i.e., Disturbance Decoupling Problem with Stronger Internal Stability. This type of problem is used to determine a compensator $\mathbf{T}_c \in \mathbf{P}^{m \times p}$ such that $(\mathbf{T}_p, \mathbf{T}_c)$ is internally stable and $\mathbf{T}_{dc} = \mathbf{0}$.

The solvability of Disturbance Decoupling Problem with Stronger Internal Stability can be expressed more directly on the problem data. We also find that there exists a compensator \mathbf{T}_c such that $[\mathbf{Z}_p, \mathbf{T}_c]$ is internally stable if and only if Internal Stability Problem is solvable and one of the equivalent conditions holds.

must be extended 1 in order to find an alternative condition to provides information such that the pole-zero structure of the process can be solved.

Consider the proces matrices

THEOREM 3. Disturbance Decoupling Problem with Stronger Internal Stability is solvable if and only if

$$\mathbf{P}_1\mathbf{Q}_{11}^{-1}\mathbf{R}_1 + \mathbf{U} \text{ is bicoprime} \quad (22)$$

and there exists a solution $\mathbf{X} \in \mathbf{S}^{(r+m) \times (r+p)}$ satisfying

$$\mathbf{J}_{22} = \mathbf{J}_{21}\mathbf{X}\mathbf{J}_{12} \quad (23)$$

where \mathbf{J}_{ij} is the system matrix associated with $(\mathbf{P}_i, \mathbf{Q}_{i1}, \mathbf{R}_i, \mathbf{U}_{ij})$ for $i, j = 1, 2$. Moreover, if equation (22) holds, then \mathbf{T}_c is a solution to Disturbance Decoupling Problem with Stronger Internal Stability if and only if it is a solution to Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability.

4. Solvability of Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability: Distillation Column Case

It is important to state here that Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability requires the exact matching of certain zeros and in general it would be unsolvable for a given plant. This problem, under certain conditions, on observation of the sizes of the inputs u_1, u_2 and the outputs y_1, y_2 , generic solvability is obtained. The following theorem shows that the solvability of the problem can be obtained under certain conditions

THEOREM 3. The set of system matrices $\hat{\mathbf{J}}_{21}$ and $\hat{\mathbf{J}}_{12}$ for which Disturbance Decoupling Problem with Internal Stability is solvable is open and dense in $\mathbf{S}^{(r+q) \times (r+m)}$ and in $\mathbf{S}^{(r+p) \times (r+n)}$, respectively, if $q < m$ and $p > n$. (24)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

In words, if the number of control inputs is greater than the number of controlled outputs and if the number of disturbance inputs is less than the number of measured outputs, then Disturbance Decoupling Problem with

Internal Stability is almost always solvable for an arbitrarily given plant.

To see how the solvability of the problem can be attained, we will use this concept to the problem of distillation column in Figure 3.

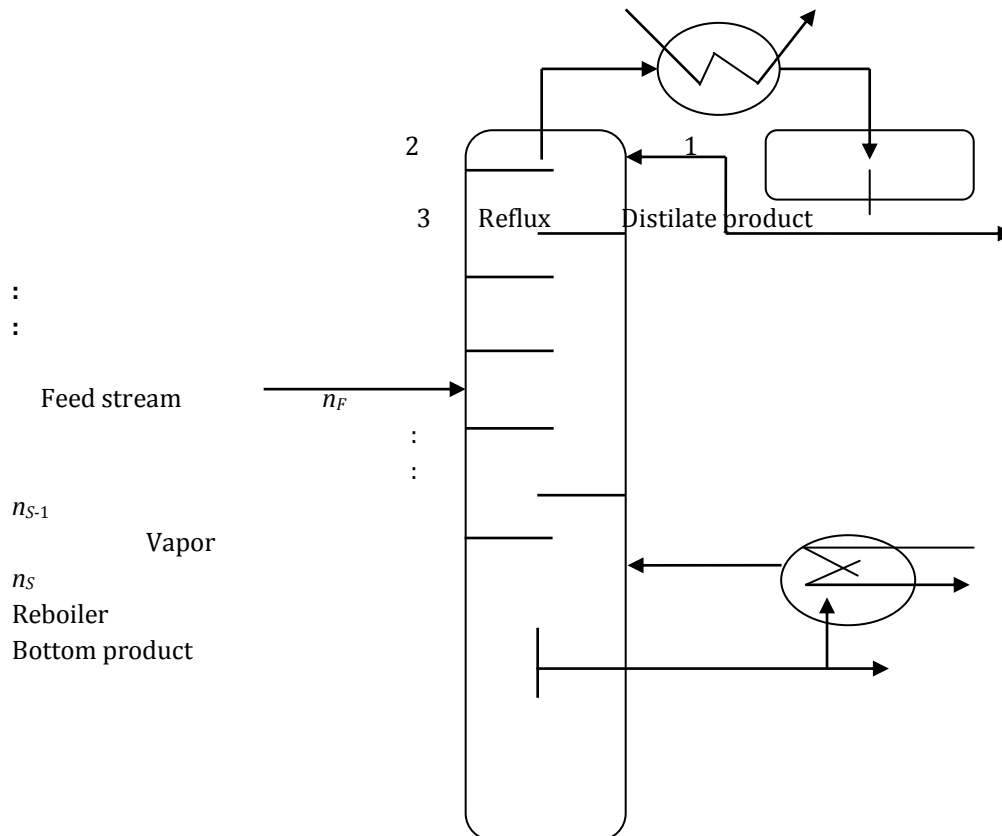


Figure 3. Schematic diagram for a distillation column

Let us assume that (a) the overhead vapor is totally condensed, (b) the vapor captured in the system is negligible, (c) the flow rates (for both vapor and liquid) are constant, (d) the liquid holdups in each stage are constant, (e) the composition of the feed is the same as the composition in that plate, and (f) the relative volatility α_i (the ratio of the equilibrium vaporization constants of the two substances leaving the i -th stage for $i = 1, \dots, 5$) is constant throughout the stages. By assumption (a), the output of the condenser is in liquid phase and, by assumption (b), $R = V_2$ which is constant by (c). By (iii) and (d), the liquid holdup on all plates is equal to a constant M and M_i, M_{NS} are

also constant. By (e), x_F is the same for the feed and the liquid in the feed plate.

Based on the distillation column diagram shown in Figure 3 and dynamic material balances we can easily derive the mathematical model for a distillation column which is summarized as follows:

The top section of column, above the feed stage, the liquid flow rates are:

$$L_R = L_D \quad (25)$$

Liquid molar flowrates at the stripping section, at the bottom section of the column below the feed stage are:

$$L_S = L_R + Fq_F \quad (26)$$



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

The stripping section vapor molar flowrates are

$$V_S = V_{reboiler} \quad (27)$$

The rectifying section vapor molar flow rates are

$$V_R = V_S + F(1 - q_F) \quad (28)$$

If we assume that a constant liquid phase molar holdup, i.e., $dM_i/dt = 0$, then the following quantities:

- The overhead receiver component balance is:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{M_D} [V_R(y_2 - x_1)] \quad (29)$$

- The rectifying section component is (from $i = 2, 3, \dots, n_F - 1$):

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_F} [L_R x_{i-1} + V_R y_{i+1} - L_R x_i - V_R y_i] \quad (30)$$

- The feed stage balance is:

$$\frac{dx_F}{dt} = \frac{1}{M_T} [L_R x_{n_F-1} + V_S y_{n_F+1} + F z_F - L_S x_{n_F} - V_R y_{n_F}] \quad (31)$$

- The stripping section component balance is (from $i = n_F + 1, n_F + 2, \dots, n_S - 1$):

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_F} [L_S x_{i-1} + V_S y_{i+1} - L_S x_i - V_S y_i] \quad (32)$$

- Reboiler component balance is:

$$\frac{dx_{N_S}}{dt} = \frac{1}{M_B} [L_S x_{n_S-1} + B x_{N_S} - V_S y_{n_S}] \quad (33)$$

In general, we can write equations (29) - (33) as

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_i} [L_{i-1} x_{i-1} + V_{i+1} y_{i+1} - L_i x_i - V_i y_i] \quad (34)$$

Where M_i is the liquid molar holdup on stage i .

It is assumed that vapor leaving a stage is in equilibrium with the liquid on the stage and the relationship between the liquid and vapor phase concentration on a particular stage can be calculated by using the constant relative volatility expression:

$$y_i = \frac{\alpha x_i}{1 + (\alpha - 1)x_i} \quad (35)$$

for $i = 2, \dots, N_S$.

Now, let

$$K_i = \frac{\alpha}{1 + (\alpha - 1)x_i} \quad (36)$$

and we have

$$y_i = K_i x_i \quad (37)$$

Substitute equation (37) into (34), we write

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_i} [L_{i-1} x_{i-1} + V_{i+1} K_{i+1} x_{i+1} - L_i x_i - V_i K_i x_i] \quad (38)$$

Under (a)-(f), a simple linear model in state-space representation can be obtained for the steady-state operation of the column. Define a vector by $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{N_S}]^T$, where x_i is the deviation from the steady-state value of the mid composition at stage i . Then, the rate of change in \mathbf{x} can be expressed as

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{G}_d \mathbf{u}_d \quad (39)$$

here $\mathbf{u} = [u_1 u_2]^T$ and u_1 and u_2 are deviations of the liquid flow rate L_{n_S} in the rectifying section and the vapor flow rate V_s in the stripping section from their ready-state values, respectively, and where $\mathbf{u}_d = [u_3 u_4]^T$ with u_3 and u_4 being the deviations in the feed composition x_F and the feed flow rate L_F , respectively. The matrices in equation (39) are given by

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{V_S}{M_1} & \frac{V_S K_2}{M_1} & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \frac{L_R}{M} & -\frac{V_S K_2 + L_R}{M} & \frac{V_S K_3}{M} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \frac{L_R}{M} & -\frac{V_S K_3 + L_R}{M} & \frac{V_S K_4}{M} & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_R}{M} & -\frac{V_S K_3 + L_R}{M} & \frac{V_S K_4}{M} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{L_F}{M} & -\frac{V_S K_3 + L_R}{M} & \frac{V_S K_4}{M} & -\frac{V_F K_F + L_F}{M} & \frac{V_F K_F}{M} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{L_S}{M_S} & -\frac{V_S K_3 + L_S}{M} \end{bmatrix}$$



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

and

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{x_1 - x_2}{M} & \frac{y_3 - y_2}{M} \\ \frac{x_1 - x_2}{M} & \frac{y_3 - y_2}{M} \\ \frac{x_1 - x_2}{M} & \frac{y_3 - y_2}{M} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_{n_s-2} - x_{n_s-1}}{M} & \frac{y_3 - y_2}{M} \\ \frac{x_{n_s-1} - x_{n_s}}{M_B} & \frac{y_3 - y_2}{M} \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \\ \frac{L_F}{M} & 0 \\ 0 & \frac{x_F - x_{F+1}}{M} \\ 0 & \frac{x_{F+1} - x_{F+2}}{M} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & \frac{x_{s-2} - x_{s-1}}{M} \\ 0 & \frac{x_{s-1} - x_s}{M_B} \end{bmatrix}$$

where all parameters are evaluated at their steady-state values. All parameters are positive and the liquid and vapor

$$x_{n_s} < x_{n_s-1} < y_{n_s} < \dots < x_{n_F} < y_{n_F-1} < \dots < x_3 < y_4 < x_2 < y_3 < y_2 = x_1 \quad (40)$$

moreover,

$$F_S = F_F + F_R = V_R + F_B, \quad V_S = V_R = F_T + F_B \quad (41)$$

To be specific consider the three-plate column with the following parameters:

$$\alpha = 2, V_R = 20, V_S = 20, M_1 = 100, M_2 = M_3 = M_4 = 25, M_5 = 200, F_R = 15, F_F = 10, F_S = 25 \\ F_B = 5, x_1 = 0.9, x_2 = 0.8, x_3 = 0.7, x_4 = 0.6, x_5 = 0.5, y_2 = 0.9000, y_3 = 0.8236, y_4 = 0.7500, y_5 = 0.6667.$$

With these values the matrices **A**, **B**, and **G_d** in equation are

$$A = \begin{bmatrix} -0.2000 & 0.1235 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6000 & -1.0938 & 0.5536 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6000 & -1.5536 & 0.6250 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0000 & -1.625 & 0.7111 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1250 & -0.1139 \end{bmatrix}, \\ B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.0036 & -0.0026 \\ 0.0040 & -0.0029 \\ 0.0040 & -0.0033 \\ 0.0005 & -0.0008 \end{bmatrix}, \quad G_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.400 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Thus the eigen values for this system can be calculated and values are

$$-2.5201, \quad -1.3585, \quad -0.5797, \quad -0.1041, \quad \text{and} \quad -0.0239$$

Because all eigen values are negative then the open loop system is stable and we found that the state- feedback to be

$$T_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 278.6378 & -197.3648 & 0 \\ 0 & 0 & 167.1827 & -268.4211 & 0 \end{bmatrix}$$

this gives the closed-loop characteristic polynomial

$$t^5 + 5.3114t^4 + 9.2808t^3 + 6.0692t^2 + 1.0834t + 0.0575 = 0$$

and the roots are

$$-0.1236, \quad -1.1702, \quad -2.5247, \quad -1.3820, \quad \text{and} \quad -0.1139$$

From these results we observe that the first two roots are of $t^2 + (A_{11} + A_{22})t + A_{11}A_{22} + A_{11}A_{22}$



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

$A_{12}A_{21}$, the fifth root is A_{55} and two remaining roots are the eigen value of a matrix which is not include in this paper because the space requirement. The condition required is satisfied and the closed loop system is stable. Finally, the concept derived in this paper can be combined to the concepts suggested by the author^(8,9) to be applied in the real process control systems.

5. References

- William L. Luyben, "Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers", 2nd Ed., McGraw Hill, New York 1992
- Donal R. Coughanowr, "Process Systems Analysis and Control", 2nd Ed., McGraw Hill, New York 1992
- Carlos A. Smith and Armando B. Corripio, "Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Ed., John Wiley", New York 1997
- V. Hernandez and M. Gasso, "Explicit solution of the matrix $AXB - CXD = E$, Liner Algebra Appl., Vol. 121, pp. 333-344, 1989
- G.H. Golub, S.Nash, and C. van Loan, "The Hessenberg-Schur Method for the Problem $AX + XB = C$ ", IEEE Trans. Automatic Control, vol. AC-24, pp. 909-913, Dec. 1979
- S. J. Hammarling, "Numerical Solution of the Stable, Non-negative Definite Lyapunov Equation", IMA J. Of Numerical Analysis, Vol.2, pp. 303-323, 1982
- G.H. Golub, and C. van Loan, "Matrix Computation", 3rd Ed., The John Hopkins University, Baltimore 2005
- Marthen Luther Doko, "The Concept of Principal Component Analysis in Chemical Process Systems: Realizability and Controllability Evaluation", Asia Pasific Symposium on Chemical Engineering, December 2013, Bohol Philipine
- Marthen Luther Doko, "The Concept of Principal Component Analysis in Chemical Process Systems: Model Reduction", Asia Pasific Symposium on Chemical Engineering, December 2013, Bohol Philipine



PENGUNAAN METODE CFD PADA PERANCANGAN SPACER DALAM ALIRAN UMPAN MODUL SWM

Muhammad Iwan Fermi, Yuswan Muharam, Sutrasno Kartohardjono¹⁾

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,

Kampus Baru UI, Depok 16424, Jawa Barat

*Email: sutrasno@che.ui.ac.id

Abstrak

Material solut yang tertahan pada permukaan membran akan membentuk Polarisasi Konsentrasi (PK) yang merupakan salah satu faktor yang membuat kinerja modul *Spiral Wound Membrane* (SWM) menurun. PK yang terbentuk akan menambah tahanan total lapisan membran sehingga laju perolehan produk (permeat) menjadi menurun. Laju pembentukan PK dapat dikurangi dengan memperbesar laju perpindahan massa solut dari permukaan membran ke aliran-curah dengan memperbesar *shear stress* pada dinding membran dan *Eddy* yang luas dan kuat. Pada modul SWM, selain sebagai pemisah antar lapisan membran sehingga menyediakan ruang bagi fluida untuk mengalir, *spacer* juga mempengaruhi pola aliran fluida yang melewatinya. Pola aliran yang terbentuk akan berpengaruh pada *shear stress* dan *Eddy* pada saluran umpan SWM. Pengukuran secara langsung pada percobaan konvensional tidak mungkin dilakukan karena dimensi saluran umpan modul SWM yang sangat kecil. Selain itu, jika penempatan sensor dimungkinkan, bentuk fisik sensor akan mengubah pola aliran fluida di dalam saluran membran. Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat membantu dalam memperkirakan pengaruh bentuk, dimensi *spacer* terhadap *shear stress* dan *Eddy* yang dihasilkan oleh *spacer*. Metode CFD memungkinkan untuk mendapatkan informasi kondisi aliran pada sembarang posisi dalam saluran umpan tanpa mengganggu pola aliran. Penggunaan metode CFD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan perpindahan massa yang dihasilkan dari simulasi 2-dimensi (2D) dan 3-dimensi (3D).

Kata kunci: Computational Fluid Dynamics (CFD), spacer, shear stress, Spiral Wound Membrane (SWM), Polarisasi Konsentrasi (PK)

Abstract

Solute material retained on the membrane surface will form Concentration Polarization (PK) which is one of the factors that make the performance of Spiral Wound Membrane module (SWM) declined. PK will increase total resistance of membrane layer so the rate of product (permeate) will be lowered. PK formation rate can be reduced by increasing the rate of mass transfer of solute from the membrane surface to the bulk-flow by creating a recirculating flow pattern along the feed stream of SWM module. In SWM modules, other than as a separator between the membrane layer that provides a space for fluid to flow, the presence of spacer also greatly affect the pattern of fluid flow through it. Measurements directly as on the conventional experiment was not possible because the dimensions of the feed channel SWM module is very small. In addition, if the sensor placement is possible, the physical form of the sensor will change the pattern of fluid flow in the membrane channel. The Computational Fluid Dynamics (CFD) method is very useful in estimating the influence of the shape and dimension of spacer on the resulting flow pattern. CFD methods can be used to learn and get information about the influence of the geometry and



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dimensions of the spacer on the flow pattern in any position in the feed line without interrupting the flow it self.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), spacer, Spiral Wound Membrane (SWM), Concentration Polarization (CP)

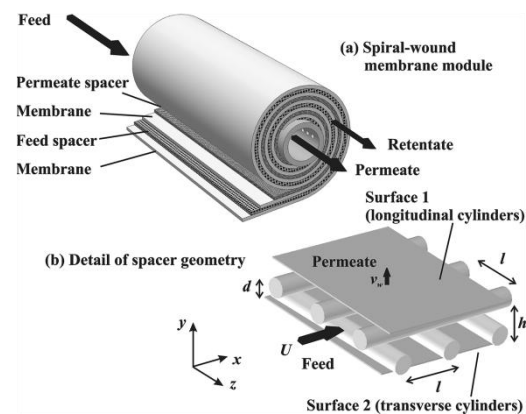
1. PENDAHULUAN

Reverse Osmosis (RO) merupakan proses desalinasi air laut yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Desalinasi merupakan proses pemisahan air dari larutan garam yang terkandung dalam air laut sehingga didapat produk berupa air murni. Pada proses RO, media pemisah yang digunakan berupa lapisan tipis semi-permeabel atau membran, yang hanya memungkinkan air untuk melewatinya sehingga didapat air murni. Bagian material aliran umpan yang tidak dapat melewati lapisan membran akan tertahan pada permukaan membran. Seiring waktu, material solut yang tertahan pada permukaan membran ini akan semakin banyak dan akan terkonsentrasi pada beberapa tempat di permukaan membran sehingga pada permukaan membran terjadi Polarisasi Konsentrasi (PK) (Sablani dkk., 2002; Schwinge dkk., 2002). PK yang terbentuk akan menjadi penghalang/tahanan bagi perpindahan air dari aliran umpan melewati membran menuju aliran produk, sehingga tahanan total membran menjadi bertambah. Pada akhirnya, hal ini menyebabkan kinerja modul SWM menjadi menurun karena terjadi penurunan laju produksi (permeat) berupa air bersih. Sehingga terbentuknya PK pada permukaan membran diyakini sebagai faktor utama yang menyebabkan berkurangnya fluks permeat (Sablani dkk., 2002). Pada proses RO, modul SWM lebih umum dipakai dibandingkan modul *hollow fiber* karena modul SWM memiliki keunggulan rasio antara luas area membran terhadap volume.

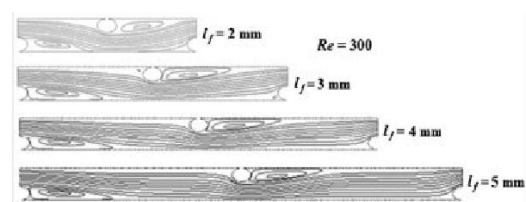
SPACER

Modul SWM terdiri dari lembaran-lembaran membran yang disusun berlapis, direkatkan dan digulung membentuk sebuah

gulungan besar berbentuk silinder. Di antara lembaran-lembaran membran tersebut dipasang *spacer* yang berfungsi sebagai pemisah antar lapisan membran dan menambah kekuatan mekanik dari struktur modul SWM (Beale dkk., 2012). Gambar 1 memperlihatkan skematik modul SWM dan tipikal susunan spacer dalam modul SWM. Ruang yang terbentuk antar lapisan membran menjadi saluran tempat aliran umpan mengalir. Fluida umpan yang melewati *spacer* akan mengalami perubahan pola aliran membentuk vorteks dan Eddy. Pada gambar 2, tampak lokasi terbentuknya Eddy di belakang filamen *spacer*. Pada bilangan Reynolds yang tetap, luas daerah Eddy dipengaruhi oleh jarak antar filamen *spacer*.



Gambar 1. (a). Modul SWM. (b). Detil geometri spacer (Beale dkk., 2012)



Gambar 2. Lokasi Eddy di belakang filamen spacer (Sousa dkk., 2014)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pada saat fluida mengalir, *spacer* akan bertindak sebagai penghalang yang akan merusak (*obstruct*) dan mengubah (*divert*) arah dan pola aliran fluida sehingga setelah melewati *spacer*, aliran umpan mengalami perubahan pola aliran. Keberadaan *spacer* juga menyebabkan terbentuknya aliran pencampuran (*mixing flow*) dan pola aliran yang tidak stabil (*instability*) (Mahdavifar dkk., 2013). *Spacer* yang diletakkan pada saluran umpan modul SWM akan menghasilkan pencampuran (*mixing*) antara fluida pada aliran curah dan elemen fluida pada permukaan membran. Pencampuran ini menyebabkan terjadi perpindahan massa solut dari permukaan membran kembali ke aliran curah (*bulak-flow*) dimana terjadi aliran balik (resirkulasi) dari aliran curah ke permukaan membran kemudian kembali lagi ke aliran curah.

Jika dibandingkan dengan saluran umpan yang kosong, saluran umpan yang dilengkapi dengan *spacer* akan memberikan laju alir umpan yang melewati membran (laju alir permeat) yang lebih tinggi, hingga 30% (Wardeh dan Morvan, 2008). Namun demikian, saluran umpan yang dipasang *spacer*, menyebabkan hilang-tekan (*pressure drop*) sepanjang saluran yang lebih tinggi dibandingkan saluran umpan tanpa *spacer* (Subramani dkk., 2006). Peningkatan hilang tekan ini akibat adanya gaya gesek (*drag force*) yang ditimbulkan oleh tiap-tiap filamen *spacer* di sepanjang saluran (Wardeh dan Morvan, 2008). Sehingga diperlukan tambahan energi pada sistem pemompaan untuk mengatasi hilang tekan tersebut guna menjaga laju alir permeat tidak terjadi penurunan. Untuk itu, *spacer* dengan kemampuan dapat mengurangi laju pembentukan PK dengan hilang tekan yang rendah, masih menjadi objek penelitian yang menarik.

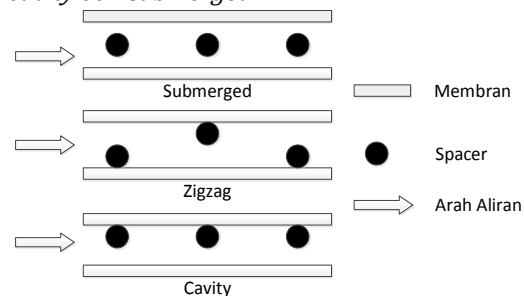
2. PENGARUH PARAMETER SPACER PADA POLARISASI KONSENTRASI

Parameter *spacer* yang menjadi perhatian peneliti umumnya berupa rasio antara

diameter filamen terhadap tinggi saluran, jarak antar filamen *spacer* dan posisi penempatan filamen *spacer*. Sehingga bentuk geometri *spacer*, susunan dan jarak antar *spacer*, akan mempengaruhi hidrodinamika fluida yang mengalir dalam saluran tersebut (Sablani dkk., 2002).

Secara komersial, *spacer* yang dibuat berbentuk silinder karena lebih mudah dalam proses manufakturnya. Namun demikian, untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik, *spacer* dengan bentuk geometri selain silinder juga dipelajari, seperti bentuk *concave*, segi tiga dan bujur sangkar (Dendukuri dkk., 2005). Ahmad dkk (2006) menggunakan metode CFD secara 2-dimensi untuk mempelajari *spacer* berbentuk segi tiga, bujur sangkar dan silinder, yang memperlihatkan bentuk silinder lebih cocok digunakan pada modul SWM karena memberikan faktor Polarisasi Konsentrasi yang paling rendah.

Umumnya, posisi *spacer* dalam saluran umpan modul SWM komersial dapat ditempatkan dengan konfigurasi posisi *submerged*, *cavity* atau *zig-zag* (gambar 3) (Subramani dkk., 2006). Pemilihan posisi penempatan *spacer* akan mempengaruhi dinamika aliran di dalam saluran umpan (Saeed dkk., 2012) yang juga akan mempengaruhi PK yang terbentuk pada permukaan membran (Ma dkk., 2004). Schwinge dkk (2002) dan Sousa dkk (2014) memperlihatkan bahwa *spacer* yang ditempatkan dengan posisi zig-zag memberikan perpindahan massa yang relatif lebih baik dibandingkan *spacer* pada posisi *cavity* dan *submerged*.



Gambar 3. Posisi penempatan spacer dalam saluran umpan modul SWM



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3. PEMODELAN DENGAN METODE CFD

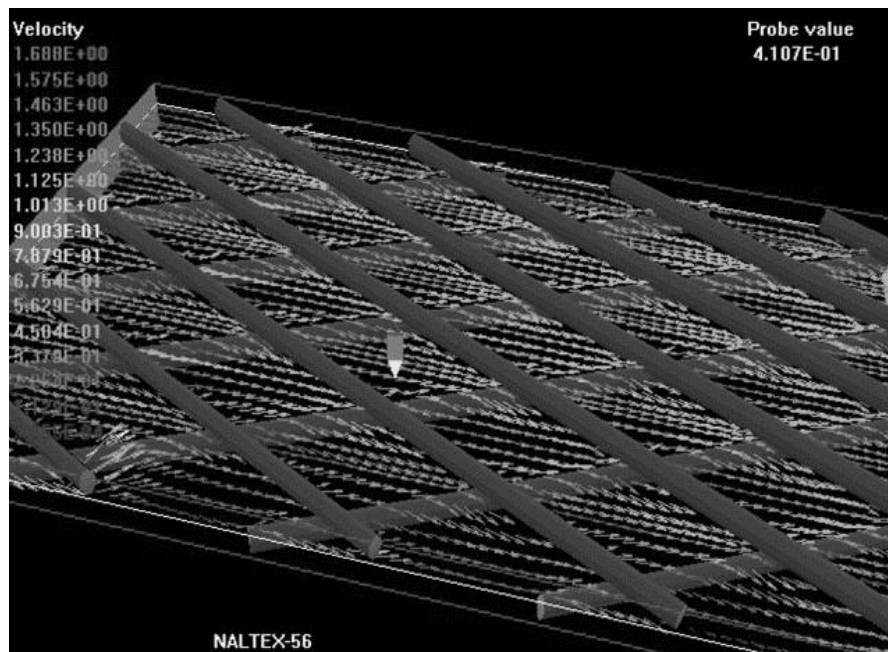
Dibandingkan metode numerik biasa, metode CFD memberikan kemudahan dalam interpretasi hasil karena hasil dapat divisualisasikan dalam bentuk grafis dan warna. Perkembangan dan kemampuan perangkat komputer yang semakin canggih, memungkinkan untuk melakukan perhitungan dalam skala yang masif dan cepat. Hal ini sangat membantu para peneliti untuk dapat memahami fenomena yang terjadi di dalam saluran umpan modul SWM.

Bentuk fisik modul SWM yang *compact* dan kedap (*sealed*) membuat metode pengamatan dan pengukuran langsung menggunakan sensor menjadi tidak mungkin dilakukan untuk mempelajari pola aliran dan fenomena Polarisasi Konsentrasi yang terjadi di dalam modul. Selain itu, metode pengukuran konvensional dengan menggunakan *probe* sensor, hanya mengukur besaran data pada satu titik (tempat) saja. Dimensi saluran umpan modul SWM sangat kecil, tipikal ketinggian saluran umpan modul adalah 1mm (tinggi) x 2mm (lebar) sehingga

tidak memungkinkan untuk menempatkan sensor *probe* dan akan mengganggu pola aliran pada saluran umpan modul SWM.

Metode CFD memungkinkan untuk mempelajari pengaruh desain *spacer* pada pola aliran fluida serta efek penggunaan desain *spacer* tersebut pada pembentukan PK dalam saluran umpan modul SWM. Metode CFD ini telah terbukti sebagai sarana yang teruji untuk pemodelan aliran dan pola aliran pada membran sistem (Sousa dkk., 2014; Wardeh dan Morvan, 2008).

Penelitian yang dilakukan oleh Karode (2001) menjadi pionir dalam penggunaan metode CFD untuk mempelajari hidrodinamika aliran fluida di dalam saluran umpan modul SWM secara 3-Dimensi (Fimbres-Weihs dan Wiley, 2010). Hasil penelitian yang ditampilkan secara visual grafis 3-dimensi (gambar 4) yang memberikan visualisasi vektor kecepatan pada seluruh ranah komputasi. Visualisasi hasil ini memberikan kemudahan dan lebih informatif dalam melakukan interpretasi dibandingkan hasil yang 2-Dimensi.



Gambar 4. Contoh visualisasi 3D hasil CFD (Karode dan Kumar, 2001)

Untuk melakukan simulasi menggunakan metode CFD, diperlukan perangkat lunak CFD yang saat ini tersedia cukup beragam. Untuk

perangkat lunak berbayar (*proprietary*) dapat menggunakan *Fluent* (www.ansys.com), atau *Comsol Multiphysics* (www.comsol.com)



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

sedangkan perangkat lunak berbasis kode terbuka antara lain: *Menotu* (<http://sourceforge.net/projects/menotu/>), *OpenFoam* (www.openfoam.org) dan *Caelinux* (www.caelinux.com).

Pemodelan dengan metode CFD dapat dilakukan secara 2-dimensi (2D) atau 3-dimensi (3D). Simulasi 3D akan lebih kompleks dari 2D karena memiliki ranah komputasi yang lebih besar serta waktu komputasi yang lebih lama. Hal ini menuntut penggunaan perangkat keras yang lebih baik dengan spesifikasi di atas kebutuhan komputasi biasa. Visualisasi pola aliran hasil simulasi CFD dapat berupa vektor kecepatan dan degradasi warna. Vektor kecepatan akan mewakili arah dan besaran kecepatan, sedangkan degradasi warna mewakili besaran skalar seperti temperatur, konsentrasi atau tekanan. Visualisasi pola aliran akan sangat membantu memahami fenomena yang terjadi di dalam saluran umpan sehingga dapat membantu mendapatkan desain *spacer* yang diinginkan.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Desain *spacer* yang efektif adalah desain yang dapat menghasilkan laju perpindahan massa yang besar tetapi dengan hilang-tekan yang sekecil-kecilnya. Perpindahan massa yang dimaksud adalah perpindahan massa solut dari permukaan membran ke arah aliran curah (*bulk flow*) sehingga dapat mengurangi pembentukan PK di permukaan membran. Desain *spacer* yang diinginkan hendaklah dapat menghasilkan aliran resirkulasi cukup kuat di dalam saluran umpan dan dapat menyentuh permukaan membran dalam sebaran yang luas.

Metode CFD sangat membantu dalam memahami fenomena dan pola aliran yang terjadi pada saluran umpan modul SWM. Metode CFD dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh penggunaan desain *spacer* tertentu dalam bentuk visualisasi hasil yang lebih baik dan lebih mudah dipahami daripada hasil simulasi numerik biasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L. dan Lau, K. K. (2006). Impact of different spacer filaments geometries on 2D unsteady hydrodynamics and concentration polarization in spiral wound membrane channel. *Journal of Membrane Science*, 286(1-2), 77-92.
- Beale, S. B., Pharoah, J. G. dan Kumar, A. (2012). Numerical Study of Laminar Flow and Mass Transfer for In-Line Spacer-Filled Passages. *Journal of Heat Transfer*, 135(1), 011004-011004.
- Dendukuri, D., Karode, S. K. dan Kumar, A. (2005). Flow visualization through spacer filled channels by computational fluid dynamics-II: improved feed spacer designs. *Journal of Membrane Science*, 249(1-2), 41-49.
- Fimbres-Weihs, G. A. dan Wiley, D. E. (2010). Review of 3D CFD modeling of flow and mass transfer in narrow spacer-filled channels in membrane modules. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(7), 759-781.
- Karode, S. K. dan Kumar, A. (2001). Flow visualization through spacer filled channels by computational fluid dynamics I.: Pressure drop and shear rate calculations for flat sheet geometry. *Journal of Membrane Science*, 193(1), 69-84.
- Ma, S., Song, L., Ong, S. L. dan Ng, W. J. (2004). A 2-D streamline upwind Petrov/Galerkin finite element model for concentration polarization in spiral wound reverse osmosis modules. *Journal of Membrane Science*, 244(1-2), 129-139.
- Mahdavifar, A., Pollard, A., Pharoah, J. G. dan Beale, S. B. (2013). Wall proximity effects on flow over a simple membrane spacer. *Computers & Fluids*, 88(0), 180-188.
- Sablani, S. S., Goosen, M. F. A., Al-Belushi, R. dan Gerardos, V. (2002). Influence of spacer thickness on permeate flux in spiral-wound seawater reverse osmosis systems. *Desalination*, 146(1-3), 225-230.
- Saeed, A., Vuthaluru, R., Yang, Y. dan Vuthaluru, H. B. (2012). Effect of feed

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- spacer arrangement on flow dynamics through spacer filled membranes. *Desalination*, 285(0), 163-169.
- Schwinge, J., Wiley, D. E. dan Fletcher, D. F. (2002). Simulation of the Flow around Spacer Filaments between Channel Walls. 2. Mass-Transfer Enhancement. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41(19), 4879-4888.
- Sousa, P., Soares, A., Monteiro, E. dan Rouboa, A. (2014). A CFD study of the hydrodynamics in a desalination membrane filled with spacers. *Desalination*, 349(0), 22-30.
- Subramani, A., Kim, S. dan Hoek, E. M. V. (2006). Pressure, flow, and concentration profiles in open and spacer-filled membrane channels. *Journal of Membrane Science*, 277(1-2), 7-17.
- Wardeh, S. dan Morvan, H. P. (2008). CFD simulations of flow and concentration polarization in spacer-filled channels for application to water desalination. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(10), 1107-1116.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

KARAKTERISTIK DODOL RUMPUT LAUT (*Kappaphycusalvarezzy*) DENGAN PENAMBAHAN NUTRIJEL DAN PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU PENERING DALAM PEMBUATAN DODOL RUMPUT LAUT

Denni kartika sari^{1*}, Indar Kustiningsih, Sakinah, Khumaedi

¹Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral sudirman km3 Cilegon Banten

*Email : Denni_123456@yahoo.com

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nutrijel terhadap sifat fisiko-kimia dan inderawi dodol rumput laut dan mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu pengeringan terhadap kadar air dari dodol rumput laut *Euचेuma Cottonii*. Penelitian dilakukan dalam dua tahap pertama variasi penambahan nutrijel pada dodol rumput laut yang dilanjutkan dengan penelitian tahap dua dengan variasi suhu dan waktu pengeringan. Metode penelitian tahap pertama pengujian fisiko-kimia dan organoleptik menggunakan skala hedonis dengan 30 panelis tahap kedua metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dengan dua faktor. Tahap pertama dilakukan variasi penambahan nutrijel 3,5 dan 7 gram Pada tahap kedua menggunakan penelitian dua faktor. Faktor pertama adalah waktu pengeringan 1,2 dan 3 jam dan faktor kedua adalah suhu pengeringan 60, 70 dan 80°C. Parameter pengamatan meliputi sifat-sifat fisik meliputi warna, mikrostruktur, tekstur dan rendemen, dan sifat kimia meliputi kadar air dan aktivitas air Hasil analisa tahap pertama menunjukkan bahwa nilai perlakuan terbaik terdapat pada kombinasi komposisi nutrijel 7 gram penilaian organoleptik rasa 4 (agak menyukai), aroma 3,6 (agak menyukai) dan tekstur 3,65 (agak menyukai). Kadar air 26,31%, kadar abu 1,02, kadar lemak 0,265, kadar protein 4,12 dan kadar karbohidrat 70,29. Hasil analisa tahap kedua dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap suhu dan waktu berpengaruh terhadap kandungan kadar air dari bahan pangan. Terdapat interaksi antara suhu dan waktu terhadap nilai kadar air dari dodol ($p < 0,01$).

Kata kunci : Dodol, *Euचेuma cottoni*, RAL

Abstrac

The study aims is to determine the effect of nutrijel on physico-chemical properties and sensory of dodol seaweed and determine the effect of variations in temperature and drying time on the moisture content of dodol the seaweed *Euचेuma Cottonii*. The study was conducted in two phases the first phase variation penambahan nutrijel on dodol seaweed, followed by a two-stage study with variations in temperature and drying time. The first phase of the research methods physico-chemical testing and organoleptic using hedonic scale with 30 panelists second phase of the research methods used Completely Randomized Design (CRD) arranged as factorial with two factors. The first stage to vary the addition nutrije 3.5 and 7 grams of the second stage uses two-factor research. First Factors are drying time of 1.2 and 3 hours and the second factors the drying temperature of 60, 70 and 80°C. Observation parameters include physical properties include color, microstructure, texture and yield, chemical dan sifat include moisture content and water activity of the first stage of analysis results showed that the best value found in the combination treatment composition organoleptic assessment nutrijel 7 grams of 4 flavors



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

(agakmenyukai), aroma 3,6 (rather liked) and the texture of 3.65 (rather liked). The water content of 26.31%, ash content of 1.02, 0.265 fat content, protein content and carbohydrate content 70.294.12. The results of the second stage analysis using a completely randomized design temperature and time affect thermo is ture content of the food. There is an interaction between temperature and time on the water content of dodol ($p < 0.01$)

Keyword : Dodol, *Eucheuma cottonii*, RAL

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal negara yang subur dan kaya akan sumber daya alam. Sebagai negara dengan luas wilayah laut lebih dari 70 persen . bidang budidaya kelautan memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan. Salah satunya adalah budidaya rumput laut. Petani rumput laut di daerah banten saat ini dapat ditemukan di daerah desa lontar kecamatan Tirtayasa. Desa Lontar, Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Banten adalah salah satu penghasil rumput laut . Budidaya rumput laut sudah menjadi idola dan mata pencaharian utama nelayan di pesisir utara kabupaten serang. Budidaya rumput laut tidak hanya dilakukan di laut, tapi juga dilakukan di tambak-tambak milik nelayan. ada dua jenis rumput laut yang dibudidayakan di sana, yakni jenis gracilaria dan jenis conttoni.

Rumput laut merupakan tumbuhan tingkat rendah yang memiliki batang bercabang - Cabang (Sulistyowaty, 2009). Namun pengolahan rumput laut di desa ini belum maksimal, masyarakat setempat lebih banyak menjual rumput laut mentah yang belum diolah sehingga harga jual yang didapat petani masih rendah. Kebanyakan dari petani menjual rumput laut kepada pengepul. Sehingga perekonomian penduduk setempat kurang berkembang. Seperti diketahui harga rumput laut saat ini mengalami penurunan pada tahun 2014 dari 13000 /Kg menjadi 10000/Kg (Antarnews, 2014). Kurangnya kesadaran penduduk setempat untuk menjaga lingkungan sekitar pun mengakibatkan kualitas dari rumput laut yang dihasilkan menjadi kurang baik sehingga harga dari rumput laut di daerah ini kurang dapat bersaing dibandingkan daerah lain.

Dodol merupakan makanan tradisional pangan semi basah. Sifat dari dodol adalah plastis, padat dan memiliki kadar air 10 hingga 40% (Haliza, 1992). Rumput laut *Eucheuma cottonii* memiliki kandungan air (27,8 %), protein (5,4 %), karbohidrat (33,3 %), lemak (8,6 %), serat kasar (3 %) dan abu (22,25 %) (Sri Widyastuti, 2008). Sehingga rumput laut merupakan produk bahan pangan dengan nilai gizi tinggi. Kelompok usaha bersama binaan KKM-PPM di desa lontar terkendala pada tekstur dodol rumput laut yang kurang tingkat kekenyalannya dan waktu pengeringan yang lama sehingga di perlukan perbaikan pada kualitas dodol dan perbaikan dalam proses produksi. Diharapkan dengan penambahan Nutrijel yang didalamnya memiliki kandungan karagenan dapat memperbaiki tekstur dari dodol rumput laut dan penggunaan oven pada proses pengeringan dapat mempersingkat waktu produksi dan kebersihan dari produk olahan.

2. Metodologi penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di laboratorium kimia dasar untirta dan lokasi KKM-PPM Untirta 2014 di Desa lontar, Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Banten

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah rumput laut *Eucheuma cottonii*, gula pasir, Gula Bubuk, Essence, pewarna, Nutrijell. Alat yang digunakan, kompor, wajan, pengaduk kayu, saringan, timbangan analitik, Oven, sendok, cawan keramik.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan dua tahapan tahap pertama dengan memvariasikan penambahan nutrijell, tahap kedua dengan memvariasikan suhu dan waktu pengeringan dengan menggunakan oven selanjutnya melakukan uji proksimat, uji mikrobiologi, serta uji hedonik pada dodol rumput laut. Terdapat tiga pengamatan yang dilakukan, yakni diantaranya uji proksimat yang terdiri atas uji kadar air, kadar abu, protein, lemak, serat, abu tak larut, dan karbohidrat.

2.4. Tahap Pembuatan dodol

Pertama, memanaskan air hingga mendidih, kemudian memasukkan bubuk nutrijell yang mengandung karagenan secara perlahan serta menambahkan ager kedalamnya sambil diaduk hingga agak kental. Setelah agak kental, menambahkan gula sambil diaduk hingga kalis, lalu menambahkan essence dan pewarna secukupnya sambil diaduk kembali hingga adonan semakin kalis.

2.5. Analisis Data

Analisa Gizi bahan pangan dan produk dodol dilakukan di lab Kimia dasar Untirta Parameter yang diamati adalah kadarair dengan metode Sudarmadji (1997), kadar protein dengan metode Kjeltex Tm2200, uji

organoleptik (Rampangan et al., 1985) meliputi tekstur, aroma, warnadan rasa dari kaya uji organoleptik (tekstur, warna, aroma, dan rasa). Metode yang dilakukan adalah metode hedonik dengan cara panelis memberikan penilaian berdasarkan tingkat kesukaan. Skor untuk tekstur, aroma, warna, dan rasa dituliskan dalam bentuk skala 1-5 (1 = sangat tidaksuka; 2 = tidak suka; 3 = agak menyukai; 4 = suka; dan 5 = sangat suka). Penilaian terhadapkaya yang dihasilkan dilakukan oleh 30 orang. Karbohidrat dengan Menggunakan Metode titrimetri Lemak menggunakan metode Grafimetri soklet Kadar abu dengan metode kering

2.6. Pengolahan Analisis Data

Pengolahan Analisis Data tahap kedua dengan Rancangan Percobaannya Rancangan Acak Lengkap dengan 2 faktor dengan 3 kali ulangan. Kombinasi perlakuan adalah 3 x 3 x 3 pengulangan sehingga diperoleh 27 satuan percobaan. Analisis data menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilakukan uji lanjutan apabila Fhitung > Ftabel pada taraf kepercayaan 5% dan 1% menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ).

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil uji proksimat dodol Rumput Laut *Eucheuma Cottonii*

Analisa	Penambahan Nutrijel 3 gram	Penambahan Nutrijel 5 gram	Penambahan Nutrijel 7 gram
Kadar air	25,86	25,43	24,31
Kadar abu	0,99	0,99	1,02
Kadar lemak	0,255	0,395	0,265
Kadar protein	7,48	2,98	4,12
Karbohidrat	65,53	70,22	70,29

Kandungan air pada bahan pangan mempengaruhi penampakan, tekstur serta cita rasa dari bahan pangan selain itu dapat menentukan *acceptability* (penerimaan), kesegaran dan daya tahan bahan pangan (Winarno, 1997). Kadar Air mempengaruhi pula lama simpan dari bahan pangan (Yuyun dan Gunarsa, 2011). Abu adalah zat anorganik

sisahasil dari pembakaran suatu bahan organik. Penentuan abu total dapat digunakan untuk berbagai tujuan antara lain sebagai parameter nilai gizi dalam suatu bahan makanan juga untuk mengetahui baik tidaknya suatu proses pengolahan serta untuk mengetahui jenis bahan yang digunakan (Sudarmadji *et al.*, 1996). Penelitian tahap



Seminar Nasional Intergrasi Proses

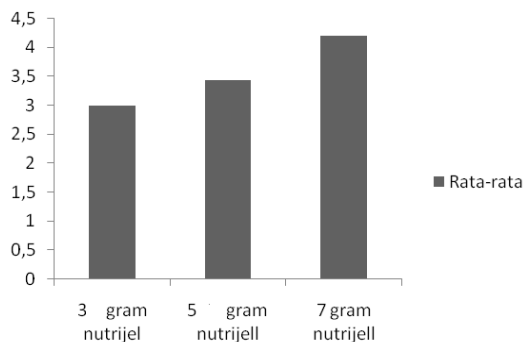
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

pertama dengan memvariasikan penambahan nurtijel sebanyak 3, 5 dan 7 gram dilakukan dengan uji organoleptik didapatkan hasil sebagai berikut.

3.1. Warna

Pada uji hedonik atau kesukaan, mengikuti tiga variasi massa nutrijell, yakni diantaranya untuk sampel dodol dengan massa nutrijell 3 gram menggunakan , massa 5 gram nutrijell menggunakan, serta untuk massa 7 gram nutrijell menggunakan dengan menghasilkan. terdapat perbedaan pengaruh pemberian warna pada uji hedonik dengan 30 panelis, dimana dihasilkan kadar nutrijell 7 gram memiliki nilai uji hedonik tertinggi Warna merupakan komponen yang penting dalam menentukan suatu kualitas dan derajat penerimaan dari suatu bahan pangan (Sultanry dan Berty,1985).

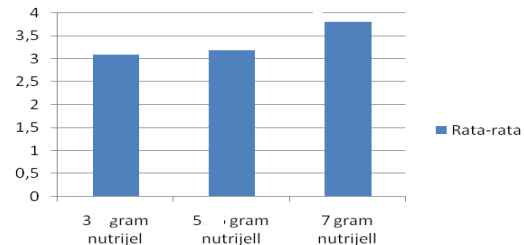


Gambar 1. Hasil Uji Organoleptik pada Rasa Dodol Rumput laut *Eucheuma Cottonii*

3.2. Aroma

Aroma merupakan faktor penting dalam menunjukkan tingkat penerimaan konsumen terhadap suatu bahan pangan hal ini dikarenakan, aroma menentukan kelezatan bahan makanan (Rampengan dkk, 1985) Uji hedonik untuk parameter aroma dihasilkan nilai tertinggi untuk massa nutrijell sebanyak 7 gram, sedangkan untuk nilai terendah dihasilkan pada massa nutrijell 3 gram. data menunjukkan bahwa pada kadar 3 gram dan 5 gram tidak menunjukkan perbedaan

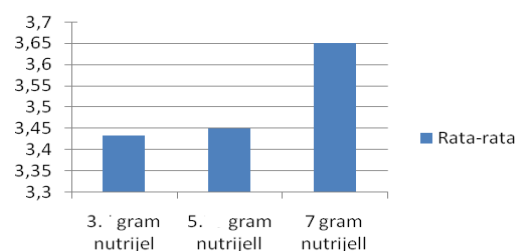
pengaruh pada aroma yang di uji 30 panelis, yang artinya kisaran penambahan massa 3 gram sampai dengan 5 gram nutrijell pada dodol rumput laut tidak mempengaruhi perubahan aroma.



Gambar 2. Hasil Uji Organoleptik pada Aroma Dodol Rumput laut *Eucheuma Cottonii*

3.3. Tekstur

Penentuan tekstur suatu bahan dilakukan dengan cara memberikan beban terhadap bahan, misalnya dengan pemeriksaan bekas atau tekanan jari (Rampengan dkk, 1985). Berdasarkan hasil uji hedonik dengan 30 panelis, didapatkan perbedaan nilai dimana pada massa nutrijell 7 gram dihasilkan nilai uji hedonik tertinggi, sedangkan pada tabel duncan yang didapatkan dari perangkat spss menunjukkan nilai asyim sig diatas 0,05 yakni 0,606 yang artinya penambahan nutrijell tidak berpengaruh pada minat tekstur 30 panelis yang telah diuji .



Gambar 3. Hasil Uji Organoleptik pada Tekstur Dodol Rumput laut *Eucheuma Cottonii*

3.4. Rasa

Uji hedonik parameter rasa didapatkan data dibawah ini yang menunjukkan pada massa nutrijell 7 gram tetap memiliki nilai uji

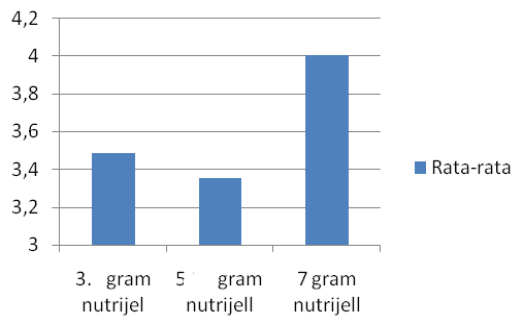


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

hedonik yang tertinggi, dan berdasarkan data pada tabel duncan menunjukkan bahwa antara massa nutrijell 3 gram dan 5 gram tidak menunjukkan perbedaan pengaruh, yang artinya penambahan massa nutrijell berkisar antara 3 sampai 5 gram tidak menunjukkan pengaruh pada rasa dodol yang dihasilkan



Gambar 4. Hasil Uji Organoleptik pada Rasa Dodol Rumpaut laut *Eucheuma Cottonii*

Uji hedonik atau kesukaan, terdapat tiga variasi nutrijell, yakni diantaranya untuk sampel dodol dengan massa nutrijell 3gram menggunakan yang tidak pekat, massa 5 gram nutrijell menggunakan, serta untuk massa 7 gram nutrijell. Pada tabel hasil pengolahan data duncan dari perangkat spss, terdapat perbedaan pengaruh pemberian warna pada uji hedonik dengan 30 panelis, dimana dihasilkan pada kadar nutrijell 7 gram memiliki nilai uji hedonik tertinggi.

Uji hedonik untuk parameter aroma dihasilkan nilai tertinggi untuk massa nutrijell sebanyak 7 gram sedangkan penambahan massa nutrijell tidak berpengaruh pada aroma yang di uji terhadap 30 panelis, yang artinya kisaran penambahan massa 3 gram sampai dengan 5gram nutrijell pada dodol rumput laut tidak mempengaruhi perubahan aroma. Hasil pengujian menunjukan pula penambahan nutrijell tidak berpengaruh pada minat tekstur 30 panelis yang telah diuji. Pada rasa didapatkan data yang menunjukkan pada massa nutrijell 7 gram tetap memiliki nilai uji hedonik yang tertinggi. Penelitian tahap pertama menunjukan penambahan 7 gram

nutrijell memiliki nilai uji organoleptik tertinggi, langkah selanjutnya adalah optimalisasi pengeringan dodol rumput laut selama ini pengeringan membutuhkan waktu satu hingga dua hari bergantung pada cuaca. Diketahui bahwa kandungan air yang terkandung pada dodol sangat berpengaruh terhadap tingkat keawetan bahan pangan (Sudarmadji. 1997).



Gambar 5. Pengecekan kadar air dodol sebelum penambahan nutrijell

Pengujian kadar air dengan pengeringan sinar matahari mencapai 26,8 %. Serta pengujian oven pengering dilakukan dengan cara variasi perlakuan suhu guna memperoleh waktu pengeringan yang ideal baik dalam segi efisiensi waktu, maupun dalam segi energi yang digunakan dibandingkan dengan pengeringan dengan sinar matahari kami mencoba memvariasikan variasi suhu dan waktu pengeringan.

Secara umum, variasi suhu dan waktu menunjukkan pengaruh yang nyata dilihat dari nilai $F_{hit} > F_{tabel}$ 1% ($p < 0,01$); Faktor suhu (suhu pengeringan mempengaruhi nilai kadar air ($p < 0,01$)) Faktor waktu (lamawaktu penyimpanan) mempengaruhi nilai kadar air ($p < 0,01$). Terdapat interaksi antara suhu dan waktu terhadap nilai kadar air dari dodol ($p < 0,01$).

Standar nasional indonesia maksimal kadar air adalah 20% namun bukan berarti semakin turun kadar air maka produk memiliki nilai yang baik hal ini dapat dilihat



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dari gambar 5 Terlihat tekstur dari dodol segi tampilan dan tekstur kurang menarik rumput laut kering dan rusak sehingga dari segi tampilan dan tekstur kurang menarik bagi pasar.

Tabel 2. Hasil analisa kadar air

Faktor waktu (jam)	r	Faktor suhu °C			Total
		60	70	80	
1	1	25,8	25,06	24,69	75,55
	2	25,81	25,01	24,7	75,52
	3	25,9	25,02	24,8	75,72
2	1	25,69	23	23,42	72,11
	2	25,8	24,58	23,54	73,92
	3	25,7	24,6	23,25	73,55
3	1	24,59	23,3	21,69	69,58
	2	24,69	23,55	22,03	70,27
	3	24,79	23,45	22,04	70,28

Tabel 3 Hasil Uji Anova Rancangan Acak Lengkap dua Faktor

Sumber variasi	SS	Df	MS	F
Sampel	15,51267	2	7,756337	74,20754
Kolom	19,50667	2		93,31353
Interaksi	2,634526	4		6,301354

Sumber variasi	Nilai P	F crit 5%	F crit 1%
Sampel	2,039	3,554557	6,012905
Kolom	3,150	3,554557	6,012905
Interaksi	0,002363	2,927744	4,579036



Gambar 6. Pemanasan pada suhu 80°C selama 3 jam

Hal ini diduga perlakuan suhu pengeringan dan lama waktu dari pengeringan mempengaruhi tekstur dari bahan pangan yang menyebabkan terjadinya retakan pada permukaan bahan. Selama proses pengeringan penguapan air terjadi yang mengakibatkan internal dalam kondisi tekstur umumnya berubah keras. Apabila

bahan pangan mengalami penguapan maka bahan mengalami penekanan, yang mengakibatkan air dalam bahan akan bergerak ke permukaan hal ini dijelaskan dalam penelitian yang dilakukan oleh Rachmawaty, dkk(2013). Panas dipermukaan mengakibatkan penguapan di permukaan sehingga air terus menerus tekstur akan mengalami keretakan dan pecah.maka dari pengujian dan pengamatan tekstur dan kadar air dari bahan pangan maka pemanasan pada suhu 70 °C selama 2 jam adalah nilai yang direkomendasikan

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Hasil analisa tahap pertama dengan memvariasikan penambahan jumlah nutrijel menunjukkan bahwa nilai perlakuan terbaik terdapat pada kombinasi komposisi nutrijel 7 gram penilaian organoleptik rasa 4 (suka),



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

aroma 3,6 (agak menyukai) dan tekstur 3,65 (agak menyukai). Kadar air 26,31%, kadar abu 1,02, kadar lemak 0,265, kadar protein 4,12 dan kadar karbohidrat 70,29. Hasil analisa tahap kedua dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan variasi suhu dan waktu berpengaruh terhadap kandungan kadar air dari bahan pangan. Terdapat interaksi antara suhu dan waktu terhadap nilai kadar air dari dodol ($p < 0,01$).

4.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut hubungan antara lama penyimpanan dengan penurunan mutu produk kaya, dengan metode penentuan umur masa simpan

5. Daftar Pustaka

- Sulistyowaty, D. 2009. *Efek Diet Rumput Laut Eucheuma sp. Terhadap Kadar Glukosa Darah Tikus Wistar yang Disuntik Aloksan*. Laporan Akhir Karya Ilmiah. Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro. Semarang. 2009.
- Widyastuti, S., 2008. Kadar karaginan rumput laut *Eucheuma cottonii* strain Maumere dan Tembalang pada berbagai umur panen diteluk Gerupuk Lombok Tengah. *Jurnal Lemlit* (in press).
- Winarno, F.G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Rachmawaty Octavi Purwanto, Bambang Dwi Argo, Mochamad Bagus Hermanto (2013) Pengaruh Komposisi Sirup Glukosa dan Variasi Suhu Pengeringan Terhadap Sifat Fisiko - Kimia dan Inderawi Dodol Rumput Laut (*Eucheuma spinosium*) *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 1(1):1-12
- A, Yuyun., & Gunarsa, Delli. (2011). *Cerdas Mengemas Produk Makanan & Minuman, Jakarta Selatan, Penerbit AgroMedia Pustaka*.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1989. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan*. Liberty. Yogyakarta.
- Haliza. 1992. *Rancangan Proses Pembuatan Dodol Kueni*. Skripsi Fakultas Pertanian IPB. Bogor
- Rampengan, V., J. Pontoh, D.T. Sember. 1985. *Dasar-Dasar Pengawasan Mutu Pangan*. Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri Indonesia Bagian Timur, Makassar.
- Sultanry dan Kaseger. 1985. *Kimia Pangan*. Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri Indonesia Bagian Timur. Makassar.



OZONASI CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN MINYAK KEDELAI UNTUK SINTESIS BAHAN ANTI-DERMATITIS

Setijo Bismo^{1*}, Dian Ikramina¹, Rahayu Eka Susilarini², Honesty Indria Nisa²

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI – Depok 16424

²Riset Grup Intensifikasi Proses, Departemen Teknik Kimia, FTUI, Kampus Baru UI – Depok 16424

*Email : setijo.bismo@ui.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis oleozon dari bahan campuran minyak zaitun dan minyak kedelai dengan teknik ozonasi secara semi-kontinyu selama 84 jam, dengan perbandingan volume 50%:50%. Sebagai kontrol, sintesis bahan oleozon dari minyak-minyak murninya dilakukan juga selama 42 jam. Ozonasi campuran minyak tersebut dilakukan dengan menggunakan generator ozon hasil rancangan sendiri dengan laju alir udara umpan sebesar 200 L/jam dan rentang produksi ozon sebesar 0,04 – 0,1 g/jam. Kondisi reaksi dijaga pada kisaran suhu 15 – 22 °C. Semua jenis oleozon yang dihasilkan dari penelitian ini dianggap telah memiliki efikasi sebagai disinfektan bakteri. Pengujian kualitas hasil ozonasi dilakukan dengan metode bilangan iod, bilangan asam, FT-IR, dan pengukuran pH. *Staphylococcus aureus* digunakan sebagai sampel pengujian kemampuan disinfektan oleozon karena merupakan bakteri paling banyak penyebab dermatitis. Berdasarkan hasil penelitian, oleozon dari bahan minyak kedelai ternyata efektif sebagai alternatif oleozon minyak zaitun, terutama karena kemampuan disinfektannya yang tidak jauh berbeda.

Kata kunci : *bahan anti-dermatitis, oleozon, teknik ozonasi, minyak kedelai, minyak zaitun.*

2. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki tingkat kelembaban yang tinggi. Hal ini mengakibatkan perkembangan dari mikroorganisme seperti jamur, bakteri, dan virus yang terus meningkat dan menyebabkan munculnya banyak wabah penyakit, termasuk peradangan pada kulit manusia. *Staphylococcus aureus* merupakan satu bakteri dengan tingkat toksin dan penyebaran yang tinggi di Indonesia. Bakteri ini menimbulkan banyak penyakit dan yang paling dominan adalah infeksi pada kulit atau dermatitis. Dermatitis merupakan suatu istilah yang digunakan untuk penggambaran suatu peradangan pada kulit yang dapat diakibatkan oleh berbagai hal, di antaranya adalah infeksi bakteri dan jamur. Bakteri yang

banyak menjadi penyebab dermatitis adalah *Staphylococcus aureus*. Di beberapa negara, termasuk di Kuba, ozonasi minyak zaitun dan beberapa jenis minyak nabati lainnya telah dikembangkan dan telah diuji dapat mengatasi penyakit kulit serta telah menjadi suatu merek dagang yang diberi nama Oleozon™. Masalah utama dari fabrikasi Oleozon™ yang terkenal tersebut adalah pada bahan bakunya.

Di satu sisi, minyak zaitun merupakan produk minyak nabati yang sangat beragam dan terkenal sangat mahal harganya. Di sisi lain, pohon zaitun bukanlah merupakan tanaman tropis bahkan juga bukan sebagai tanaman asli kepulauan di Indonesia. Oleozon™ ini disintesis melalui ozonasi minyak zaitun menggunakan ozonator. Untuk



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

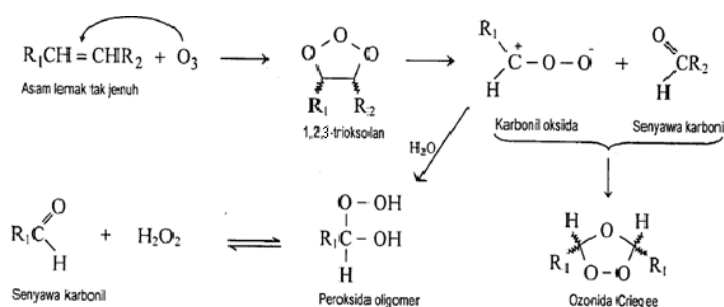
membuat oleozon memerlukan waktu yang cukup lama bahkan berhari-hari, dan ozonator (pembangkit ozon) yang digunakan harus mampu berkerja lebih dari 12 jam. Oleh karena itu, pada awal penelitian ini dilakukan juga rekayasa dan perancangan ozonator khusus untuk tujuan sintesis Oleozon™, terutama dengan menggunakan bahan baku minyak nabati lainnya sebagai alternatif pengganti minyak zaitun.

Kemampuan ozon sebagai antibakteri terbukti dapat digunakan untuk bakteri gram positif dan gram negatif, serta sporan dan sel vegetatif (Guzel-Seydim dkk., 2004). Penelitian mengenai perbandingan kemampuan disinfeksi ozon dengan disinfektan yang biasa digunakan telah banyak dilakukan (Kinga Skalskaa dkk, 2009; Khadre dan Yousef, 2001; 2005; Filippi, 2005; John dkk., 2005). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa ozon merupakan disinfektan yang terbaik.

Secara umum, senyawa ozon dapat digunakan dalam bentuk campuran ozon/oksigen, air terozonasi atau minyak terozonasi. Namun, karena penggunaan ozon secara langsung (dalam bentuk gas) secara berlebihan dapat membahayakan kesehatan manusia, oleh karena itu alternatif penggunaan air dan minyak terozonasi lebih disukai. Minyak nabati terozonasi telah terbukti memiliki kemampuan antibakteri dan antijamur dalam aplikasi makanan,

kosmetik dan industri farmasi (Sechi dkk., 2001; Guzel-Seydim dkk., 2004; Valacchi dkk., 2005; Bocci, 2006; Diaz dkk., 2006; Geweely, 2006; 2006; Rodriguez dkk., 2007). Reaksi ozon dengan minyak nabati menghasilkan produk ozonida Criegee, hidroperoksida, dan aldehida (Diaz dkk., 1998).

Minyak nabati terozonasi dapat efektif berfungsi sebagai disinfektan karena memiliki kandungan lemak tak jenuh. Pada saat dilakukan teknik ozonasi pada minyak nabati, kandungan lemak tak jenuh itulah yang berperan dominan dalam bereaksi dengan ozon untuk membentuk senyawa ozonida, melalui mekanisme reaksi yang diperkenalkan oleh Criegee (1975). Minyak zaitun, merupakan minyak nabati yang paling banyak digunakan sebagai minyak nabati terozonasi, hal ini dimungkinkan karena kandungan asam lemak tak jenuhnya yang tinggi, berupa asam oleat sebesar 55 – 83 % dan asam linoleat 3,5 – 21 % (NSW DPI, 2012). Akan tetapi, salah satu kendala dari minyak zaitun sebagai bahan baku pembuatan Oleozon™ adalah terutama karena harganya yang sangat mahal dan bukan tanaman asli dari Indonesia. Oleh karena alasan-alasan itulah, maka penelitian ini lebih difokuskan pada sintesis Oleozon™ serta uji kemampuan dan efikasinya dari minyak nabati yang berasal dari Indonesia, seperti minyak kedelai.



Gambar 1. Mekanisme Criegee untuk reaksi ozonasi asam lemak tak jenuh (Bismo, 2005)

Dari berbagai penelitian, diketahui bahwa minyak kedelai memiliki kisaran kandungan asam lemak oleat antar 17 – 30 %, linoleat 48

– 59 %, dan linolenat 4,5 – 11% (Codex Stan, 2013). Dari hasil penelitian mengenai karakteristik minyak nabati terozonasi yang



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dilakukan oleh para peneliti terdahulu dapat disimpulkan bahwa minyak kedelai juga berpotensi untuk dijadikan minyak nabati terozonasi karena kandungan lemak tak jenuhnya yang relatif sangat tinggi (Sadowska dkk., 2007). Oleh karena itulah, minyak nabati alternatif yang digunakan pada penelitian adalah minyak kedelai, termasuk sebagai bahan baku untuk dicampurkan dengan minyak zaitun.

Prinsip pengerjaan atau sintesis praktis dari Oleozon™ dalam penelitian ini adalah ozonasi secara langsung 2 macam minyak nabati, berupa minyak zaitun dan minyak kedelai serta campuran minyak kedelai dan minyak zaitun dengan perbandingan volume 50%- 50%, yang dilakukan secara semi-kontinyu selama 42 jam. Reaksi sintesis Oleozon™ dilakukan dalam suatu reaktor ozonasi yang dilengkapi dengan pendingin pada suhu yang relatif konstan selama proses ozonasi, sehingga dapat dilakukan pengamatan secara lebih spesifik tentang pengaruh masing-masing minyak terozonasi tersebut sebagai disinfektan bakteri melalui uji bakteri metode kertas cakram (*paper dish*); yaitu mengamati produk-produk oleozonnya serta membandingkan kemampuan disinfeksi bakterinya sedemikian rupa sehingga dapat ditentukan apakah minyak kedelai layak dapat digunakan sebagai bahan oleozon pengganti minyak zaitun.

3. METODE PENELITIAN

2.1. Perancangan Alat

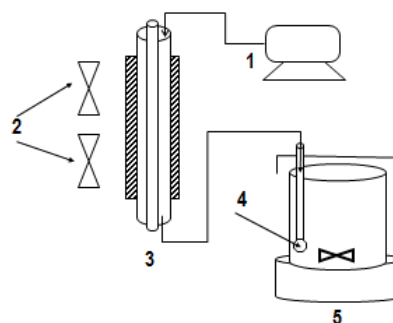
Alat yang digunakan adalah ozonator hasil rakitan sendiri, reaktor ozonasi dan pengaduk magnetis. Ozonator yang digunakan merupakan rangkaian dari empat buah ozonator *sanitizer* (yang biasa digunakan untuk sanitasi sayuran dan buah-buahan), dua buah fan yang berfungsi sebagai pendingin ruangan *corona discharge* dalam ozonator, sebuah timer sebagai saklar, dua buah aerator sebagai sumber udara masukan dan sebuah terminal untuk menghubungkan dan penatan rangkaian listrik sistem kelistrikan alat ozonator. Reaktor yang digunakan memiliki

diffuser yang dimaksudkan untuk menambah efektivitas penyerapan ozon ke dalam minyak. Pengaduk magnetis digunakan untuk mengaduk minyak agar memudahkan pencampuran ozon dengan minyak.

Ozonator digunakan secara semi-kontinu selama 42 jam untuk minyak murni, yaitu minyak zaitun dan minyak kedelai murni, dan digunakan juga selama 84 jam untuk campuran minyak keduanya dengan perbandingan 50%-50%. Pengaduk magnetis digunakan selama 3 jam pertama untuk memudahkan pencampuran ozon dengan minyak. Skematisasi alat yang digunakan disajikan pada Gambar 2.

2.2. Ozonasi Minyak Nabati

Minyak yang diozonasi adalah minyak zaitun dan minyak kedelai murni sebanyak 200 mL. Sementara itu campuran minyak yang diozonasi sebanyak 250 mL dengan perbandingan 50%-50%. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, gas ozon (O_3) dihasilkan dari alat ozonator hasil rancangan sendiri, dengan menggunakan umpan udara dari aerator yang memiliki kapasitas 200 L/jam.



Gambar 2. Skematisasi alat. 1-Aerator, 2-Kipas pendingin, 3-Ozonator, 4-Diffuser, 5-Pengaduk magnetis dan mantel pendingin

Ozon yang dihasilkan dari ozonator dialirkan ke dalam reaktor dengan menggunakan selang silikon yang relatif tahan terhadap iritasi dan oksidasi oleh O_3 . Reaktor yang digunakan diberi penutup berupa aluminium foil untuk mencegah adanya pengotor dari luar yang dapat masuk ataupun ozon yang terlepas ke udara bebas. Ozonasi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

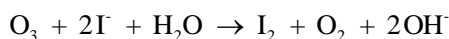
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

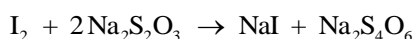
minyak dilakukan selama 42 dan 84 jam dengan suhu reaksi dalam kisaran 15 – 22 °C. Sampel minyak hasil ozonasi diambil setiap 21 jam untuk diuji perkembangan dari hasil raksinya menggunakan FT-IR dan ditimbang pertambahan massanya.

2.3. Produksi Ozon

Ozon yang diproduksi selama proses ozonasi untuk setiap minyak nabati dianalisis dengan menggunakan metode titrasi iodometri. Metode iodometri merupakan metode sederhana namun cukup efektif untuk dapat digunakan untuk menganalisis jumlah mole ozon yang bereaksi dengan ion I^- dalam larutan KI, sedemikian rupa sehingga jumlah mole ozon yang dihasilkan oleh ozonator dapat ditentukan. Reaksi yang terjadi antara ozon dan KI dalam larutan adalah sebagai berikut:



Untuk mengetahui jumlah mole I_2 yang terbentuk larutan KI, maka larutan yang telah berwarna kuning atau kuning tua (kecoklatan) dititrasi dengan natrium thiosulfat ($Na_2S_2O_3$). Reaksi antara I_2 dalam larutan KI (disebut juga larutan KI_3) dengan $Na_2S_2O_3$ adalah sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi yang terjadi seperti pada persamaan (2) di atas, maka hubungan mole antara O_2 dengan $Na_2S_2O_3$ adalah seperti dalam persamaan (3) di bawah ini.



Oleh karena itu, jumlah mole ozon yang diproduksi oleh alat ozonator per satuan waktu dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut ini:

$$Q_{\text{ozon}} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \times M_{Na_2S_2O_3} \times Mr_{O_2}}{2 \times t} \times \frac{V_{KI, \text{total}}}{V_{KI}}$$

dimana $V_{Na_2S_2O_3}$ adalah volume titran $Na_2S_2O_3$ yang digunakan untuk mentitrasi larutan KI;

$M_{Na_2S_2O_3}$ adalah konsentrasi larutan $Na_2S_2O_3$;

$V_{KI, \text{total}}$ adalah volume KI yang diozonasi; V_{KI} adalah volume KI yang dititrasi, dan t adalah waktu ozonasi dari larutan KI. Selain itu juga, besarnya laju alir campuran udara/ozon yang keluar dari alat ozonator juga diukur dengan menggunakan alat ukur laju volumetris yang disebut *bubble soap*. Prinsip kerjanya adalah menghitung waktu yang dibutuhkan oleh gelembung sabun untuk mencapai volume tertentu pada tabung bening berskala.

2.4. Analisis Gravimetri dan Perubahan Fisika

Selama dilakukan ozonasi, terjadi pertambahan massa campuran minyak di dalam reaktor. Hal ini terjadi bukan hanya karena adanya reaksi ozon dengan asam lemak tak jenuh pada minyak, melainkan juga adanya kemungkinan reaksi lanjut dari ozonida yang terbentuk dan atau proses absorpsi uap air di dalam udara oleh sistem campuran minyak. Oleh karena itu lah, dilakukan perhitungan pertambahan massa minyak setiap kali proses ozonasi dihentikan. Selain itu juga, dilakukan pengamatan perubahan-perubahan fisika yang terjadi selama proses ozonasi seperti bau, warna, dan kekentalan larutan minyak yang dapat menunjukkan keberhasilan ozonasi yang dilakukan. Minyak hasil ozonasi memiliki bau khas ozon seperti pada minyak, perubahan warna menjadi lebih keruh, dan perubahan viskositas menjadi lebih kental akibat pembentukan ozonida dan peroksida (Diaz, 2012).

2.5. Bilangan Iod

Bilangan iod menunjukkan banyaknya ikatan rangkap yang ada dalam minyak nabati. Bilangan iod digunakan untuk menunjukkan keberhasilan ozonasi yang dilakukan. Pada penelitian ini, pengujian bilangan iod dilakukan di BBIA (Balai Besar Industri Agro), Bogor dengan metode Wijs, sesuai SNI. 01-3555-1998, butir 6.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

2.6. Bilangan Asam

Bilangan asam menunjukkan massa basa (dalam miligram KOH) yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terkandung dalam 1 gram sampel. Bilangan asam juga merupakan parameter yang menunjukkan keberhasilan ozonasi. Pada penelitian ini perhitungan bilangan asam dilakukan dengan menggunakan larutan KOH sebagai titran. Perhitungan bilangan asam dapat dilakukan dengan Persamaan (5) berikut ini:

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{56,1 \times V_{\text{KOH}} \times N_{\text{KOH}}}{\text{Massa Minyak}}$$

dimana V_{KOH} adalah volume KOH yang digunakan untuk menitrasi sampel minyak; N_{KOH} adalah konsentrasi atau normalitas larutan KOH yang digunakan.

2.7. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan terhadap cairan bening (larutan protik) yang terbentuk setelah ozonasi dilakukan. Pengukuran pH ini juga dilakukan untuk melihat keberhasilan proses ozonasi yang dilakukan, yaitu dengan menggunakan alat pH meter.

2.8. Analisis Spektrum FT-IR

Spektrum FT-IR masing-masing sampel minyak setelah dilakukan ozonasi selaman 21 jam diamati dengan menggunakan alat spektroskopi FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*). Analisis dari hasil spektrum FT-IR yang diperoleh dapat digunakan untuk memastikan keberhasilan ozonasi yang dilakukan. Pada penelitian ini ikatan yang diperhatikan adalah gugus-gugus atau pun ikatan-ikatan karbonil (C = O), rangkap 2 di tengaj (C = C), dan rangkap 2 di akhir (C = C-H).

2.9. Pengamatan Efikasi

Pengujian kemampuan sebagai disinfektan dari setiap produk minyak nabati hasil ozonasi (minyak terozonasi) dilakukan secara khusus untuk mendisinfeksi bakteri *Staphylococcus aureus*. Pengujian dilakukan di

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong, yaitu dengan menggunakan metode kertas cakram (*paper dish*)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Produktivitas Ozonator

Produktivitas ozonator diamati dengan cara mengukur produksi ozon, berupa laju alir massa ozon sebagai keluaran alat ozonator, dalam satuan gram atau miligram ozon per jam. Berdasarkan hasil pengukuran selama penelitian, diperoleh laju produksi massa O_3 rata-rata terbesar pada saat dilakukan ozonasi pada minyak kedelai murni, dengan rincian sebagai berikut: laju produksi ozon untuk ozonasi minyak zaitun adalah sebesar 0,077 g/jam; untuk minyak kedelai sebesar 0,085 g/jam; dan untuk campuran minyak keduanya adalah sebesar 0,048 g/jam. Sedangkan untuk laju alir volume campuran gas udara/ O_3 (pada keluaran ozonator), juga diperoleh hasil terbesar pada saat ozonasi minyak kedelai, dengan rincian sebagai berikut: laju alir rata-rata campuran udara/ O_3 ozon selama ozonasi minyak zaitun adalah sebesar 170,75 liter/jam; untuk ozonasi minyak kedelai sebesar 194,18 liter/jam; dan campuran minyak 172,17 liter/jam.

(5)

3.2. Analisis Gravimetri

Dari hasil pengukuran pertambahan massa minyak didapatkan bahwa pertambahan massa pada campuran (cairan) minyak yang tertinggi adalah pada minyak kedelai, dengan rincian sebagai berikut: pertambahan massa (campuran cairan) selama ozonasi minyak zaitun adalah sebanyak 59,7 gram; pada minyak kedelai sebanyak 71,6 gram; sedangkan pada ozonasi untuk campuran minyak zaitun/kedelai adalah sebanyak 41,7 gram untuk waktu ozonasi selama 42 jam dan 71,4 gram untuk waktu ozonasi selama 84 jam.

Untuk perubahan sifat fisika dari minyak nabati yang terjadi, dapat disebutkan di antaranya adalah adanya bau menyengat yang muncul setelah minyak diozonasi, selain itu juga terdapat perubahan warna larutan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

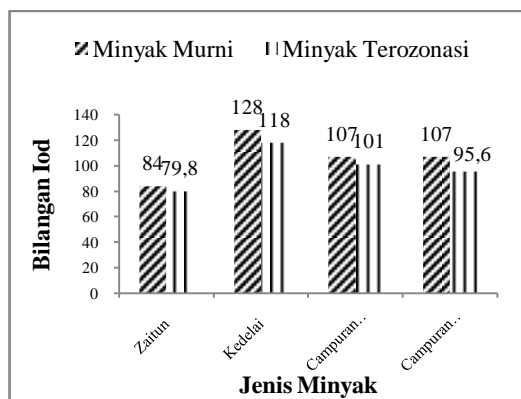
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

menjadi lebih keruh dan cairan minyak nabati yang menjadi lebih kental. Ketiga perubahan ini digunakan sebagai indikator yang menunjukkan keberhasilan proses ozonasi dalam penelitian ini.

3.3. Bilangan Iod

Penurunan nilai bilangan iod yang didapatkan pada penelitian ini, yaitu untuk masing-masing minyak dan campuran minyak setelah mengalami ozonasi, disajikan pada Gambar 3. Dari fenomena penurunan bilangan iod tersebut, dapat dikatakan adanya indikator yang menunjukkan keberhasilan ozonasi yang dilakukan, terutama karena berkurangnya jumlah (mole) ikatan rangkap yang ada dalam masing-masing minyak. Setelah diozonasi, ikatan rangkap dalam minyak mengalami reaksi dengan ozon sehingga membentuk senyawa baru berupa aldehid, peroksida, dan atau ozonida. Oleh karena itu terjadi pengurangan jumlah ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh dalam minyak.

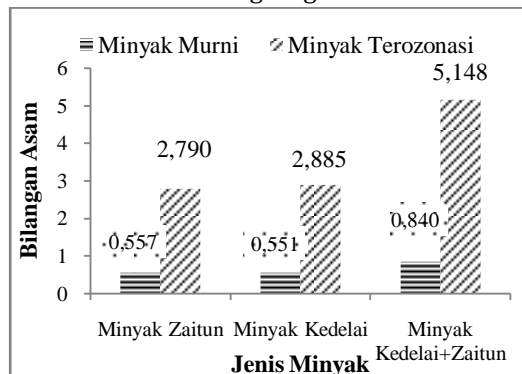


Gambar 3. Fenomena Penurunan Bilangan Iod setelah Ozonasi

3.4. Bilangan Asam

Dari analisis ini didapatkan kenaikan nilai bilangan asam, untuk masing-masing minyak dan campuran minyak setelah mengalami ozonasi, yang disajikan pada Gambar 4 di bawah ini. Kenaikan bilangan asam menunjukkan pula keberhasilan proses ozonasi yang dilakukan, terutama karena fenomena kenaikan bilangan asam

merupakan indikator adanya peningkatan proses dekomposisi peroksida dan oksidasi aldehida menjadi asam karboksilat selama reaksi ozonasi berlangsung.



Gambar 4. Fenomena Kenaikan Bilangan Asam setelah Ozonasi

3.5. Pengukuran pH

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran pH dilakukan untuk campuran atau larutan protik yang dihasilkan dari proses ozonasi, yang berada tepat di bawah lapisan minyak (organik) terozonasi. Pada pengukuran ini diperoleh nilai pH terendah, yaitu yang paling bersifat asam, adalah pada campuran minyak zaitun-kedelai (50%-50%); dengan rincian lengkapnya: pH larutan protik di bawah minyak zaitun sebesar 1,35; di bawah minyak kedelai sebesar 1,27; dan di bawah campuran minyak zaitun/kedelai sebesar 1,05. Dalam hal ini, pH air berhubungan dengan keasaman akibat adanya proses pembentukan asam karboksilat dan mineralisasi yang larut dalam air, yang dapat terjadi selama proses ozonasi.

3.6. Analisis Spektrogram FT-IR

Hasil pengujian spektrogram atau spektrum dari masing-masing minyak dan campuran minyak zaitun-kedelai (50%-50%) menunjukkan adanya kenaikan nilai transmitansi untuk masing-masing ikatan. Hal ini jelas berarti sebagai indikator berkurangnya jumlah mole dari beberapa gugus dan atau ikatan dalam minyak terozonasi tersebut. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis ini, maka dapat disimpulkan bahwa hasil spektrogram telah



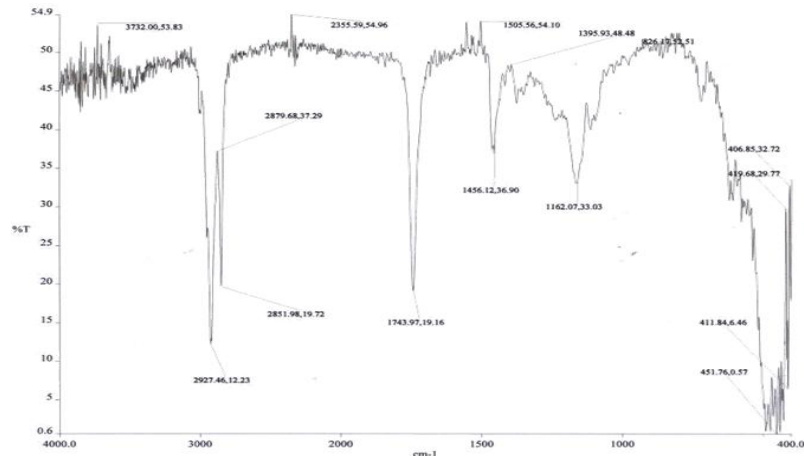
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

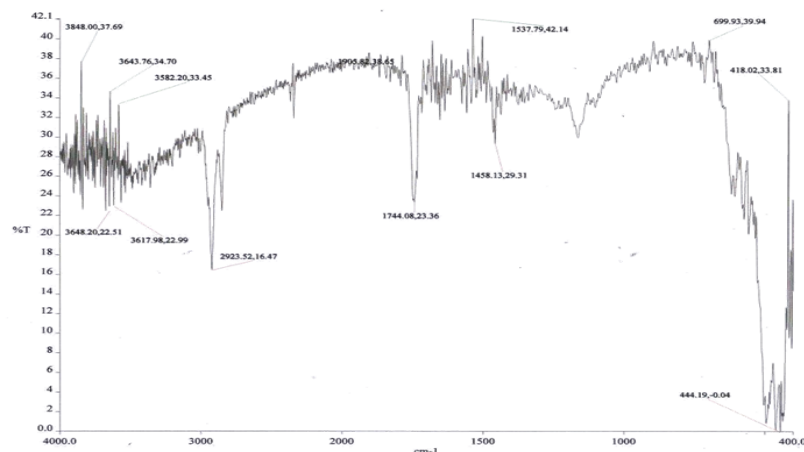
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

sesuai dengan kecenderungan pengujian-pengujian yang dilakukan sebelumnya, yaitu penurunan bilangan iod yang ditunjukkan dengan pengurangan ikatan-ikatan C = C dan C = C - H, dan kenaikan bilangan dengan

pengurangan ikatan C = O. Sebagai contoh, salah satu hasil spektrogram FT-IR yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Spektrogram FT-IR dari Minyak Nabati sebelum Ozonasi



Gambar 6. Spektrogram FT-IR dari Minyak Nabati setelah Ozonasi

3.7. Pengamatan Disinfeksi Bakteri

Berdasarkan hasil pengujian ini, didapatkan bahwa semua oleozon atau minyak nabati hasil ozonasi memiliki kemampuan dan efektivitas yang baik sebagai disinfektan. Hal ini dapat diamati dengan adanya zona jernih di sekiling kertas cakram yang telah dicelupkan (dibasahi) ke dalam sampel minyak terozonasi. Dalam hal ini, diameter zona jernih yang terbentuk dibandingkan dengan diameter kertas cakram

yang digunakan untuk mendapatkan nilai zona hambat dari masing-masing minyak.

Zona hambat yang terbesar adalah pada oleozon dari minyak zaitun, yaitu sebesar 2 satuan luas, sementara untuk minyak kedelai memiliki zona hambat sebesar 1,8 satuan luas dan campuran minyak zaitun-kedelai (50%-50%) memiliki zona hambat sebesar 1,9; yaitu masing-masing untuk proses ozonasi selama 42 jam dan 84 jam.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

6. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan yang dilakukan untuk semua oleozon dari minyak nabati yang ada, dapat disimpulkan bahwa ozonasi menggunakan ozonator rancangan berhasil dilakukan, baik untuk proses ozonasi untuk minyak-minyak nabati murni selama 42 jam ataupun untuk campuran-campuran minyak zaitun-kedelai selama 42 jam dan 84 jam.

Sementara itu, berdasarkan pengujian kemampuan disinfeksi bakteri dari setiap oleozon yang dihasilkan, secara khusus dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa minyak kedelai sesungguhnya sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku Oleozon™, terutama sebagai bahan anti-dermatitis seperti dilakukan dalam penelitian ini, yaitu karena terbukti bahwa zona hambat Oleozon™ dari minyak kedelai tidak signifikan berbeda dengan Oleozon™ dari minyak zaitun.

Penggunaan campuran minyak zaitun-kedelai (50%-50%) ternyata dapat menghasilkan Oleozon™ yang memiliki zona hambat yang lebih besar dibandingkan dengan Oleozon™ dari minyak kedelai murni, namun tampaknya waktu ozonasi tidak berpengaruh besar pada penambahan kemampuan disinfeksi.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi – Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, yang telah mendukung terselenggaranya penelitian-penelitian tentang ozonasi minyak-minyak nabati melalui dana PKMP (Program Kreativitas Mahasiswa untuk Penelitian). Tak lupa pula, kami juga berterima kasih dan memberikan apresiasi setulusnya kepada fihak-fihak LIPI – Cibinong dan BBIA – Bogor yang telah banyak memberikan saran serta membantu pelaksanaan analisis dan pengamatan dari penelitian ini.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Bocci, A.V., *Scientific and medical aspects of ozone therapy*. State of the art. Arch. Med. Res, 2006 May, 37(4): 425-35.
- Codex Stan *Codex Standard for Named Vegetable Oils*, 2013, 210-1999.
- Díaz, M.F., Gavín, J.A., Gomez, M., Curtielles, V., Hernandez, F., *Study of ozonated sunflower oil using ¹H NMR and microbiological analysis*. Ozone Sci. Eng., 2005, 28(1):1-5.
- Díaz, M.F., Hernandez, R., Martinez, G., Vidal, G., Gomez, M., Fernandez, H., Garces, R., *Comparative study of olive oil and ozonized sunflower oil*. J. Braz. Chem. Soc., 2006, 17(2):403-407.
- Filippi, A. *The Influence of Ozone on Wound Healing in Oral Surgery*. Strasbourg : IOA 17th Ozone World Congress, 2005, III.4.5.
- Geweely, N.S.I., *Antifungal activity of ozonized olive oil (Oleozone)*. Int. J. Agric. Biol., 2006, 8 (5), pp670-675.
- Guzel-Seydim Z.B., A.K. Greene, A.C. Seydim. *Use of Ozone in the Food Industry*. Lebensm.-Wiss, u-Technol., 2004, 37(2004), 453-460.
- John D.E., C.N. Haas, N. Nwachuku, dan C.P. Gerba. *Chlorine and Ozone Disinfection of Encephalitozoon intestinalis Spores*. Water Res., Jun 2005, 39(11), pp2369-75.
- Khadre, M.A. dan A.E. Yousef. *Sporicidal Action of Ozone and Hydrogen Peroxide: A Comparative Study*. Int. J. Food Microbiol., 2001, 71, pp131-138.
- Kinga Skalskaa, Stanisław Ledakowicz, Jan Perkowski & Barbara Sencio. *Germicidal Properties of Ozonated Sunflower Oil*, Ozone, Science & Engineering, 2009, 31(3), pp232-237.
- NSW DPI. *Olive Oil Characteristics*, 2012.
- Rodriguez, Z.B.Z., Alvarez, R.G., Guanche, D., Merino, N., Rosales, F.H., Cepero, S.M., Gonzalez, Y.A., Schulz, S., *Antioxidant mechanism is involved in gastroprotective effects of ozonized sunflower oil in ethanol-induced ulcers in rats*. Mediators Inflamm., 2007:65873. Epub 2007 Jan 18.

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Sadowska, Justyna et al. *Characterization of Ozonated Vegetable Oil by Spectroscopic and Chromatographic Methods*. Chemistry and Physics of Lipids, 2008, 151, 85–91.
- Sechi, L.A., Lezcano, I., Nunez, N., Espim, M., Dupr` e, I., Pinna, A., Molicotti, P., Fadda, G., Zanetti, S., *Antibacterial activity of ozonated sunflower oil (Oleozon)*. J. Appl. Microbiol., 2001, 90(2), pp279-284.
- Valacchi, G., Fortino, V., Bocci, V., *The dual action of ozone on the skin*. Brit. J. Dermatol., 2005, 153(6):1096-1100.



PREDIKSI MEDAN ALIR, EFISIENSIDAN PENURUNAN TEKANAN PADA SIKLON PERSEGI MENGGUNAKAN CFD

Novi Sylvia^{1*}, Yazid Bindar², Yunardi³

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

² Departemen sistem energi dan proses, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung

³Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

*Email : nxsylvia@gmail.com

Abstrak

Artikel ini memaparkan hasil penelitian yang diperoleh melalui aplikasi komputasi dinamika fluida (Computational Fluida Dynamic, CFD) untuk mensimulasi medan alir di dalam siklon persegi. Perangkat lunak Gambit digunakan sebagai pre-processor untuk menggambar konfigurasi, diskritisasi, dan pendefinisian kondisi batas siklon. Geometri siklon silinder Lapple dan persegi ditinjau dari volume yang sama. Diameter siklon yang digunakan 0,2 m menyesuaikan dengan diameter siklon silinder Lapple yang digunakan Wang pada eksperimennya, dengan kondisi operasi ditentukan pada laju alir gas sebesar 0,1m³/s sementara beban partikel dalam laju alir gas sebesar 0,01kg/m³. Perangkat lunak CFD FLUENT 6.2.16 digunakan untuk simulasi medan alir dan dinamika partikel dalam siklon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh geometri siklon persegi terhadap medan alir, efisiensi dan penurunan tekanan. Prediksi yang dihasilkan memberikan informasi mengenai medan alir berupa kecepatan axial dan tangensial di dalam siklon serta informasi efisiensi dan penurunan tekanan. Hasil kajian menunjukkan bahwa kecepatan tangensial mendominasi medan alir di luar garis tengah siklon, sementara kecepatan aksial mendominasi medan alir di daerah garis tengah siklon. Penurunan tekanan yang terjadi pada siklon persegi lebih tinggi dari siklon silinder, namun efisiensi untuk siklon persegi lebih tinggi dibandingkan siklon Lapple.

Kata kunci : Siklon persegi, siklon silinder, dinamika fluida komputasi, efisiensi, dan penurunan tekanan

1. PENDAHULUAN

Siklon merupakan salah satu peralatan yang paling umum digunakan untuk mengendalikan emisi debu dari aliran gas pada proses industri. Meskipun perkembangan rekayasa saat ini telah memungkinkan untuk mengaplikasikan siklon, misalnya sebagai pengering dan reaktor, namun aplikasi utamasiklon tetap pada bidang pengendalian pencemaran udara di mana efisiensi yang tinggi diperlukan untuk memenuhi peraturan yang diterapkan. Dibandingkan dengan alat pengendali polusi udara yang lain, siklon lebih disukai karena kesederhanaan dari desainnya, tidak mahal,

biaya pemeliharaan rendah, dan kemampuan beradaptasi untuk berbagai kondisi operasi seperti pada suhu dan tekanan tinggi. Meskipun siklon sering digunakan sebagai tempat akhir pengumpulan di mana partikel yang berukuran besaringin dipisahkan, siklon juga umum digunakan sebagai pra-pembersih sebagai kolektor yang lebih efisien seperti elektrostatik presipitator, *scrubber* atau kain saringan (Swamee dkk, 2009).

Siklon memiliki empat bagian utama yaitu; pemasukan (inlet), badan siklon, sistem pengeluaran debu, dan outlet, yang kesemuanya mempengaruhi efisiensi siklon. Prinsip pemisahan siklon cukup sederhana



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yaitu aliran campuran gas-padatan diarahkan ke siklon melalui pemasukan dibagian atas. Badan siklon yang berbentuk silinder menyebabkan partikel berputar, sehingga mendorong partikel bertabrakan dengan dinding silinder. Gasterus menyusuri badan siklon hingga ke bagian kerucut, yang memiliki kecepatan rotasi gas yang cukup untuk membuat partikel tetap bertabrakan dengan dinding siklon. Di bagian bawah kerucut, gas merubah arah dari bawah ke atas. Pusaran yang naik memasuki tabung disebut *vortex finder* dan keluar dari siklon. Sementara itu, kumpulan partikulat jatuh ke dalam *hopper*, dimana secara berkala akan dipindahkan.

Kinerja utama siklon dinilai dari efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan. Terlepas dari desain dan operasi yang sederhana, namun perilaku aliran dan dinamika partikel dalam siklon cukup rumit. Hal ini memerlukan model matematis yang efisien untuk memberikan prediksi yang akurat mengenai efisiensi dan penurunan tekanan di dalam siklon baik untuk tujuan desain maupun untuk kebutuhan operasi siklon. Banyak peneliti telah mengembangkan model-model semi-empiris untuk memprediksi efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan dalam siklon. Leith (1990) meringkas sejumlah model ini, termasuk yang dikembangkan oleh Stairmand (1951), Barth (1956), Lapple dan Shepherd (1939), Lapple (1951), Leith dan Licht (1972). Meskipun mayoritas model empiris dikembangkan berdasarkan data eksperimen terhadap geometri siklon tertentu, kesalahan substansial antara prediksi dan data yang diukur dalam efisiensi siklon adalah bukti karena penggunaan asumsi yang berbeda terhadap kondisi geometri. Sebagai konsekuensinya, penggunaan model semi-empiris memiliki keterbatasan dalam memprediksi kinerja siklon. Karena itu, metode numerik diusulkan untuk pemodelan medan aliran dan dinamika partikel dalam siklon untuk tujuan memprediksi efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan.

Setelah kajian pertamasimulasikan secara numerik menggunakan teknik dinamika fluida komputasi (CFD) oleh Boysan (1982), mulai muncul sejumlah penelitian secara numerik terhadap kinerja siklon. Elsayed dan Lacor (2010) mengoptimasi geometri siklon yang bertujuan untuk memperoleh penurunan tekanan minimum menggunakan metoda tanggap permukaan. Mereka menggunakan model turbulensi Reynolds Stress untuk mewakili medan alir di dalam siklon dan mendapatkan bahwa parameter geometris yang paling signifikan adalah diameter *vortex finder*, lebar bagian inlet, tinggi bagian inlet dan tinggi total siklon.

Hasil kajian kinerja berbagai model turbulensi terhadap prediksi medan alir, efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan memberikan jawaban model turbulen yang sesuai untuk simulasi siklon Lapple dengan badan siklon berbentuk silinder (siklon silinder yang dilakukan oleh Wang dkk (2005) dilakukan oleh Novi (2011) dalam tesis menunjukkan model turbulen RSM yang sangat sesuai untuk siklon. Namun hasil tersebut belum memberikan jawaban secara tuntas dan masih menjadi kajian bagi para peneliti untuk menjawab bagaimana pengaruh desain bentuk dan parameter geometri siklon terhadap efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan. Untuk menjawab hal ini, penelitian ini akan menfokuskan kepada modifikasi badan siklon dari silinder menjadi bentuk persegi karna selama ini siklon yang banyak digunakan di industri berbentuk silinder. Secara umum tujuan penelitian ini mengkaji kinerja siklon persegi secara Dinamika komputasional Fluida ditinjau dari medan alir, efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan.

1. METODOLOGI

Penelitian ini mengkaji kinerja siklon persegi secara Dinamika komputasional Fluida ditinjau dari medan alir, efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan. Efisiensi pengumpulan pada umumnya merupakan perbandingan antara massa debu yang terkumpul dan massa debu yang masuk



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

siklon, sementara penurunan tekanan merupakan parameter penting di dalam evaluasi kinerja siklon. Penurunan tekanan terjadi disebabkan oleh kontraksi aliran fluida yang keluar, ekspansi bagian masuk siklon, dan friksi pada permukaan dinding siklon. Dimensi siklon yang digunakan pada penelitian ini diawali dengan penggambaran geometri siklon.

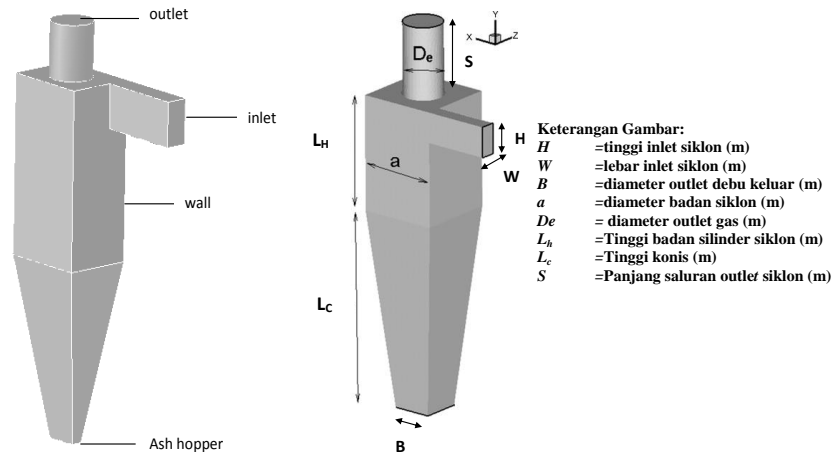
2.1 Geometri dan Kondisi Batas Siklon

Geometri dan kondisi batas siklon digambarkan menggunakan perangkat lunak Gambit. Dimensi geometri siklon yang dikaji merupakan model siklon persegi menyesuaikan dengan data siklon silinder eksperimen yang digunakan Wang dkk (2005)

sebagai validasi. Geometri siklon yang akan digambarkan ditunjukkan pada gambar 1 beserta perbandingan geometrinya pada tabel 1. Sementara data material yang digunakan tertera pada tabel 2.

Tabel 1. Geometri siklon yang digunakan ($a=0.2$ m) pada penelitian

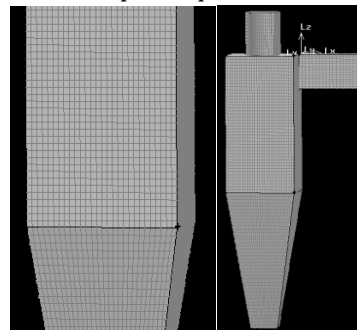
W/a	0.25
H/a	0.5
De/a	0.5
S/a	0.625
L_H/a	2.0
L_c/a	2.0
B/a	0.25



Gambar 1. Geometri siklon persegi

Konfigurasi siklon kemudian digambarkan dalam bentuk geometri 3 dimensi seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Setelah membuat geometri, langkah berikutnya adalah melakukan pembagian objek menjadi bagian-bagian kecil atau meshing. Meshing yang dilakukan disini diawali dengan *mesh* bidang (*mesh face*) tipe map setelah itu dilakukan *mesh volume* dengan tipe cooper dan heksahedral. Dari beberapa jenis elemen mesh volume, elemen heksahedral dan *cooper* lebih disukai karena dapat mengurangi kesalahan diskritisasi dan mengurangi jumlah elemen. Bentuk geometri volume yang rumit harus dipisah-pisahkan menjadi bentuk yang sederhana agar dapat

dipakai mesh tersebut. Tipe elemen yang terdapat pada mesh face dan volume yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tipe mesh bidang dan mesh volume yang digunakan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

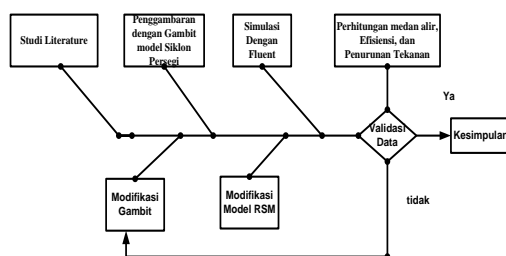
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 2. Data material yang digunakan

Temperatur aliran udara	25 °C
Min. diameter partikel	5 µm
Max. diameter partikel	200 µm
Mean diameter partikel	29.90 µm
Spread parameter	0.806
Densitas Abu	3320 kg/m ³
Densitas Udara	1,225kg/m ³

Setelah penggambaran geometri dan meshing kemudian dilakukan pendefinisian kondisi batas. Disini kondisi batas didefinisikan sebagai *inlet*, *outlet*, *wall* dan *ash hopper*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (kiri). Semua data geometri dan *meshing* dari model siklon disimpan sebagai *mesh* atau *grid file* agar dapat diekspor ke perangkat lunak FLUENT, sebagai tahapan *Preprocessor*. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 konfigurasi siklon kemudian digambarkan dalam bentuk geometri 3 dimensi seperti yang ditunjukkan Gambar 1(kanan).

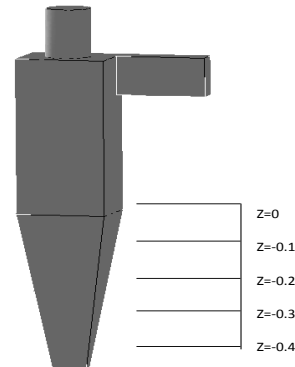


Gambar 3. Bagan alir penelitian

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Prediksi Medan alir dalam siklon persegi

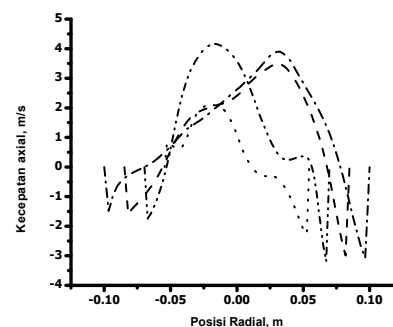
Pada sub bab ini akan diprediksikan medan alir pada berbagai posisi siklon persegi. Posisi prediksi di dalam siklon ditunjukkan pada Gambar 4, dimana posisi $z=0$, $z=0,1$, $z=0,2$, dan $z=0,3$ berada pada bagian konis siklon.



Gambar 4. Posisi prediksi kecepatan aksial dan tangensial pada siklon persegi

Prediksi kecepatan aksial pada berbagai posisi ditunjukkan pada gambar 5. Dari gambar 5 menjelaskan bahwa kecepatan aksial meningkat dari $z=0$ sampai $z=0,2$, sedangkan pada $z=0,3$ kecepatan aksial menurun. Hal yang menarik adalah bahwa di dalam bagian konis ditunjukkan bahwa kecepatan axial sangat kecil, pada $z=0,3$ berarti gerakan fluida lebih cenderung ke bawah mendorong partikel jatuh. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan aksial sama sekali tidak memainkan peran di daerah $z=0,3$.

Prediksi kecepatan tangensial pada berbagai posisi ditunjukkan pada gambar 8. Dari gambar 8 menjelaskan bahwa kecepatan tangensial menurun dari $z=0$ sampai $z=0,3$. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan tangensial sama sekali tidak memainkan peran di daerah $z=0,3$. Kecepatan positif pada gambar tersebut menunjukkan orientasi gerakan, artinya aliran menuju ke atas, sedangkan tanda minus menyatakan gerakan yang berlawanan, yaitu ke bawah.



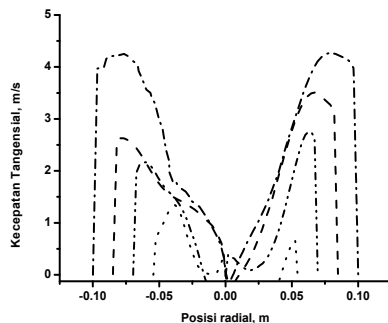


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

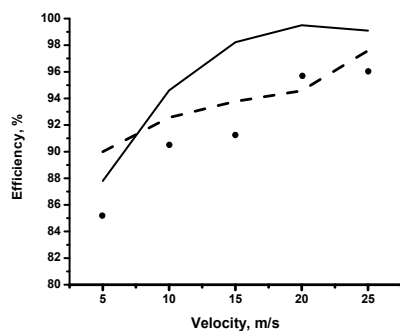
Gambar 5. Kecepatan aksial yang diprediksi pada empat posisi $z=0$, $z=0,1$, $z=0,2$ dan $z=0,3$ (garis = hasil prediksi; --- $z=0$; -- $z=0,1$; - - - $z=0,2$; $z=0,3$)



Gambar 6. Kecepatan tangensial yang diprediksi pada empat posisi $z=0$, $z=0,1$, $z=0,2$ dan $z=0,3$ (garis = hasil prediksi; --- $z=0$; -- $z=0,1$; - - - $z=0,2$; $z=0,3$)

3.2 Efisiensi Siklon Persegi

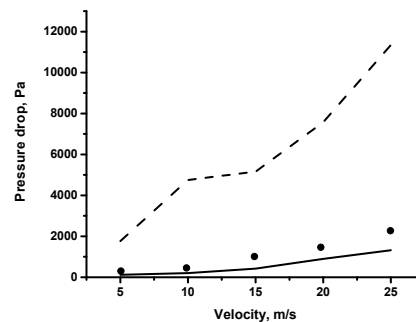
Siklon persegi memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan siklon silinder dalam hal ini siklon lapple. Namun pada kenyataannya siklon persegi efisiensinya semakin tinggi seiring dengan kenaikan kecepatan inlet dibandingkan dengan siklon silinder yang mengalami penurunan efisiensi pada saat kecepatan inlet naik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7. Unjuk kerja dari siklon itu sendiri dilihat dari penurunan tekanan yang serendah-rendahnya dan efisiensi yang tinggi. Untuk itu perlu kajian kembali dalam mendesain badan siklon persegi ini. Di sinilah perlu tahapan optimasi dalam mendesain geometri siklon guna mendapatkan unjuk kerja siklon persegi terbaik.



Gambar 7. Prediksi efisiensi dan data eksperimen (simbol = data eksperimen; garis=hasil prediksi – siklon silinder; -- siklon persegi)

3.2 Penurunan Tekanan Siklon Persegi

Prediksi penurunan tekanan dapat dilihat pada gambar 8 yang terjadi pada siklon persegi semakin meningkat seiring meningkatnya kecepatan inlet dan tekanan static dari siklon. Pada kecepatan inlet $v=5$ m/s tekanan static menduduki nilai terendah yaitu sebesar 1750 Pa, sementara pada kecepatan inlet $v = 25$ m/s tekanan static mengalami peningkatan secara signifikan yaitu sebesar 11278 Pa. Sementara pada siklon silinder prediksi penurunan tekanan di bawah nilai eksperimen.



Gambar 8. Prediksi Penurunan tekanan dan data eksperimen (simbol = data eksperimen; garis=hasilprediksi – siklon silinder; -- siklon persegi)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

- 1 Hasil simulasi numerik mendukung fakta eksperimen bahwa kecepatan tangensial mendominasi medan alir di luar garis tengah siklon, sementara kecepatan aksial mendominasi medan alir di daerah garis tengah siklon, terutama pada bagian pipa keluar.
- 2 Secara numerik, nilai kecepatan aksial lebih kecil dari nilai kecepatan tangensial, sehingga secara keseluruhan kecepatan tangensiallah yang mengendalikan medan alir di dalam siklon. Dominasi kecepatan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

tangensial menyebabkan partikel terdorong ke dinding siklon sehingga partikel tersebut jatuh ke bagian konis siklon dan terkumpul di bagian bawah siklon.

- 3 Penurunan tekanan yang terjadi pada siklon persegi lebih tinggi dari siklon Lapple, namun efisiensi untuk siklon persegi lebih rendah dibandingkan siklon Lapple.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Barth, W., Design and layout of the cyclone separator on the basis of new investigations, Brennstow - Waerme - Kraft, 1956, 8, 1-9.
- Boysan, F.; Ayers, W.H.; Swithenbank, J.A., Fundamental mathematical modeling approach to cyclone design, Trans IChemE, 1982, 60, 222-230.
- Elsayed, Khairy.; Lacor, Chris., Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using mathematical models and CFD simulations, Chemical Engineering Science, 2010, 65, 6048-6058.
- FLUENT 6.2.16, , User's Guide. FLUENT Incorporated, 2005.
- Griffiths, W.D; Boysan F., Computational fluid dynamics (CFD) and empirical modelling of the Performance of a number of cyclone samplers, J. Aerosol Sci, 1996, 27, 281 -304.
- Hoekstra, A. J.; Derksen, J. J; Van den Akker, H. E. A., An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones, Chem Eng Sci, 1999, 54, 2055±2065.
- Lapple, C.E., Process uses many collector types, Chem.Eng, 1951, 58, 114
- Shepherd, C.B.; Lapple, C.E., A Design Approach In Cyclones, Air pollution control, 1939, 2, 127-139.
- Wang, B.; Xu, D.L.; Xiao, G. X.; Yu, A.B., Numerical study of gas-solid flow in a Siklon, Applied Mathematical Modelling, 2005, 30, 1326-1342.



PENGARUH KONDISI pH LARUTAN TERHADAP KINERJA ULTRAFILTRASI LARUTAN BOVINE SERUM ALBUMIN MENGGUNAKAN MEMBRANE POLIETERSULFON

Sri Mulyati^{1*}, Fachrul Razi, Sofyana

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala

Kopelma Darussalam, Banda Aceh

*Email : sri.mulyati@unsyiah.ac.id

Abstrak

Teknologi membran telah diaplikasikan secara luas pada proses pemurnian protein karena proses ini memiliki keuntungan diantaranya konsumsi energi yang rendah, kualitas produk yang konstan dan mudah dalam proses pengoperasian. Salah satu aplikasi teknologi membran yang digunakan untuk pemurnian protein albumin adalah teknik ultrafiltrasi. Tiga jenis membran hollow fiber dari bahan dasar PES digunakan untuk ultrafiltrasi larutan bovin serum albumin, yaitu membran yang terbuat dari Polietersulfon (PES), dan dua jenis modifikasi struktur pori PES dengan surfaktan Pluronic F127 dan tetronic 304. Penelitian ini bertujuan adalah untuk mempelajari pengaruh kondisi pH larutan protein terhadap permeabilitas dan rejeksi larutan dan mengetahui pengaruh modifikasi membran PES hollow fiber terhadap kinerja ultrafiltrasi untuk pemisahan dan pemekatan protein albumin. Kondisi pH larutan diatur pada kondisi asam (4,5) dan basa (9,0). Uji kinerja ultrafiltrasi dilakukan dalam modul tunggal membran *hollow fiber* skala laboratorium menggunakan model protein larutan bovine serum albumin (BSA) 1000 ppm dengan modul tunggal secara *cross-flow filtration* secara *pressure driven inside*. Nilai Permeabilitas larutan BSA pH rendah untuk membran PES F127, PES Tetronic 304 dan PES Original berturut-turut adalah 208,19399 L/m².h.atm; 90,7592 L/m².h.atm; 14,3816 L/m².h.atm, sedangkan nilai permeabilitas larutan BSA BSA pH tinggi pada membran PES F127, Tetronic 304 dan Original berturut-turut sebesar 298,66154 L/m².h.atm; 120,723 L/m².h.atm; 54,2946 L/m².h.atm

Kata kunci : Pemisahan protein, bovine serum albumin, permeabilitas membrane, ultrafiltrasi

1. PENDAHULUAN

Larutan putih telur dikenal sebagai salah satu sumber protein albumin, kandungan protein albumin dalam putih telur mencapai 54 % (Datta dkk., 2009). Seiring meningkatnya permintaan protein albumin sebagai bahan baku industri farmasi, mendorong para peneliti dan serta pihak produsen untuk terus mengkaji teknik pemisahannya dari sumber larutan putih telur. Produksi protein albumin secara konvensional dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya teknik presipitasi, sentrifugasi, dan kristalisasi. Teknik-teknik ini menghasilkan produk

dengan selektivitas yang rendah, dan harus diulang beberapa kali untuk mendapatkan protein yang benar-benar murni (Mayani dkk., 2010). Selain itu protein albumin dapat juga diperoleh dengan teknik purifikasi dengan resolusi tinggi seperti afinitas, dan kromatografi ion exchange (Chiang dkk., 1993, Owen dkk., 1997). Tetapi teknik-teknik ini memerlukan biaya operasional yang tinggi dan juga memerlukan proses tambahan seperti pengenceran, penukar buffer, dan penghilangan kadar garam (Wang dan Shi, 2011). Kekurangan lain dari teknik kromatografi adalah terjadi perubahan fase yang menyebabkan degradasi produk.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Teknik pemisahan dengan teknologi membran yang pada awal kemunculannya diperkenalkan untuk proses pengolahan air bersih dan air limbah, saat ini telah berkembang dalam bidang bioteknologi untuk pemisahan dan pemekatan protein. Protein dapat dipisahkan dan dipekatkan dengan lapisan membran berdasarkan prinsip filtrasi. Hal ini dapat dilakukan karena perbedaan ukuran partikel protein dan ukuran pori membran. Berbagai jenis membran dari berbagai bahan polimer dapat dibuat dengan ukuran pori yang spesifik untuk pemisahan protein yang spesifik juga. Beberapa kajian tentang kelayakan dan strategi untuk pemisahan albumin dari putih telur telah dilakukan diantaranya dengan menggunakan ultrafiltrasi dua tahap (Datta dkk., 2009). Tahap satu terjadi pemisahan albumin dan lysozyme dari campuran lainnya, dan pada tahap kedua terjadi pemisahan albumin dari campuran albumin dan lysozyme. Kajian lainnya telah dilakukan oleh Millesime dkk. (1994) menggunakan plate membran dari bahan polietersulfon dan polisulfon tersulfonasi. Dari kedua jenis membran yang diuji, diperoleh albumin dan lysozyme yang dapat tersaring mencapai 100%. Matsuyama, dkk (1997) telah melakukan kajian pemurnian protein menggunakan membran hidrogel dari bahan polyvinyl alkohol (PVA) dengan beberapa jenis modifikasi membran. Vitamin B12, ovalbumin dan lysozyme dari putih telur, dan bovine serum albumin (BSA) digunakan sebagai model protein. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mereka menyimpulkan bahwa tingkat hidrophilisitas larutan berpengaruh terhadap permeabilitas membran.

Keberhasilan pemisahan dan pemekatan protein dengan teknologi membran sangat ditentukan oleh sifat dan morfologi membran itu sendiri. Jenis dan sifat larutan protein juga berpengaruh terhadap usia pakai membran yang digunakan. Membran komersial yang dapat diperoleh di pasaran umumnya terbuat dari polimer yang bersifat hidrofobik seperti polisulfon (PS), dan polietersulfon (PES).

Polimer PS dan PES mempunyai sifat mekanik yang cukup baik serta mempunyai sifat resisten yang kuat terhadap bahan kimia. Apabila digunakan untuk pemisahan atau pemekatan protein, membran-membran ini akan mengalami masalah serius karena fouling sangat mudah terjadi pada permukaan material yang bersifat hidrofobik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kelemahan membran PES yang bersifat hidrofobik menjadi lebih hidrofilik dengan cara melakukan modifikasi membran PES tersebut. Hasil modifikasi diharapkan akan diperoleh membran PES dengan kombinasi sifat hidrofilik, dengan ketahanan mekanik yang cukup serta tahan terhadap bahan kimia. Hidrofilisitas akan meminimisir persoalan fouling apabila membran ini digunakan untuk pemisahan dan pemekatan protein.

Penelitian bertujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi pH larutan protein (pH rendah dan pH tinggi) terhadap permeabilitas larutan BSA pada tiga jenis membran. Tiga jenis membran hollow fiber dari bahan dasar PES digunakan untuk ultrafiltrasi larutan bovin serum albumin, yaitu membran yang terbuat dari Polietersulfon (PES), dan dua jenis modifikasi struktur pori PES dengan surfaktan Pluronic F127 dan Tetronic 304. Proses ultrafiltrasi dilakukan dengan modul tunggal secara *cross-flow filtration* secara *pressure driven inside* yaitu arah aliran dari dalam menuju dinding luar.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan dan Alat

Bahan utama yang diperlukan adalah polimer polietersulfon (Ultrason E6020 P, BM=65.000) diperoleh dari BASF Co. Pelarut digunakan N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP) diperoleh dari WAKO (Pure Chemical Industries, Ltd, Japan). Aditif Tetronic 304, dan pluronic F127 didapat dari BASF Co. Selanjutnya digunakan model protein putih telur bovin serum albumin diperoleh dari WAKO Pure Chemical Industries, Japan. Penetrasi pH larutan digunakan buffer sodium



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dihydrogen phosphate, dan disodium hydrogen phosphate. Peralatan yang diperlukan berupa satu unit peralatan pembuat membran hollow fiber dengan tipe dry-wet spinning dan peralatan modul ultrafiltrasi.

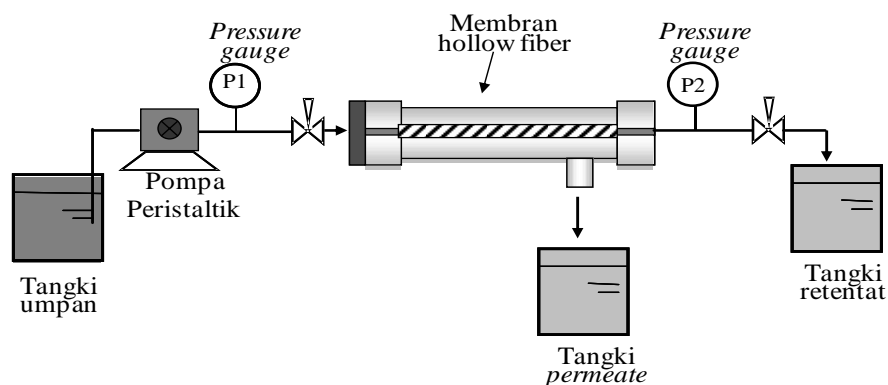
2.2 Proses Pembuatan Membran

Tiga jenis membrane dibuat dengan komposisi larutan dalam persen berat masing-masing PES1 (PES; 18% + NMP; 82%), PES2 (PES; 18% + Pluronic F127; 5% + NMP; 77%), dan PES3 (PES; 18% + Tetronic 1307; 5% + NMP; 73%). Semua larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer diatas hot plate, dan mencapai kondisi homogen setelah pengadukan selama 24 jam. Membran hollow fiber dibuat dengan metode dry-wet

spinning secara non-solvent induced phase separation, menggunakan spinneret dengan ukuran diameter dalam dan luar masing-masing 0,7 dan 1,0 mm. Membran disimpan didalam air murni (*deionized water*) sebelum digunakan untuk proses ultrafiltrasi larutan BSA.

2.3. Pembuatan Larutan Albumin

Model larutan protein albumin sebagai larutan umpan untuk proses ultrafiltrasi dibuat dengan melarutkan BSA didalam buffer phosfat dengan konsentrasi 1000 ppm. Kondisi pH larutan sebagai variabel penelitian diset pada pH rendah 4,5 dan pH tinggi 9,5 menggunakan larutan buffer sodium dihydrogen phosphate dan disodium hydrogen phosphate



Gambar 1. Rangkaian Alat Ultrafiltrasi

2.4 Proses Ultrafiltrasi

Tahapan selanjutnya adalah merancang modul membran untuk diaplikasikan pada proses pemekatan protein albumin. Desain secara skematis modul membran dengan aliran dari dalam keluar (*Pressure Driven Inside, PDI*) seperti pada Gambar 1. Membran dipasang pada modul ultrafiltrasi. Proses ultrafiltrasi berlangsung dengan cara melewati larutan protein kedalam membran menggunakan pompa peristaltic (Watson Marlow, Germany). Tekanan operasi diatur sama untuk semua proses selama tiga jam proses ultrafiltrasi yaitu 0,5 kg/cm². Permeat yang melewati membran ditampung dan ditimbang untuk mengetahui besarnya permeabilitas larutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Profil Permeabilitas Larutan BSA Tiga Jenis Membran pada pH Rendah

Profil permeabilitas larutan BSA untuk ketiga jenis membran pada pH rendah dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat permeabilitas menurun dengan lamanya waktu filtrasi. Pada awal proses filtrasi keadaan permukaan membran masih bersih, akan tetapi seiring dengan berjalannya waktu terjadinya fouling dan polarisasi konsentrasi dipermukaan membran. Hal ini disebabkan adanya kontaminan biologis, senyawa makro molekul, senyawa anorganik tertentu dan bahan koloid (Rifaid, 2010).



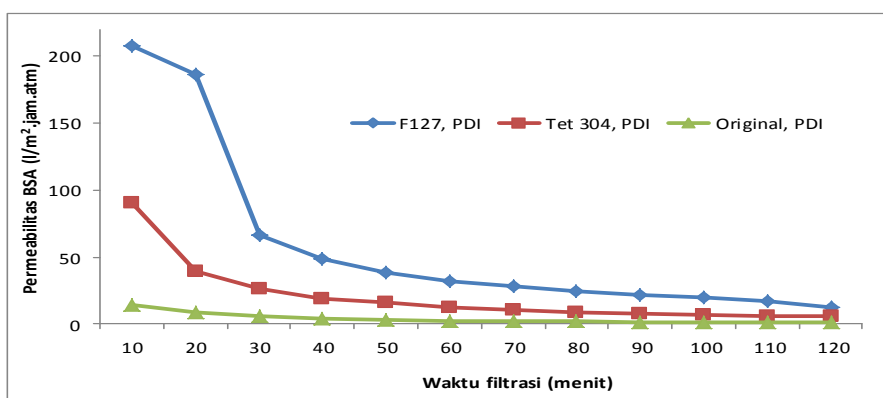
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Dari ketiga jenis membran yang digunakan yaitu membran PES F127, Tetronik 304, dan PES Original. Membran PES F127 dan PES Tetronik 304 memiliki permeabilitas larutan BSA yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan PES Original, ini karena membran PES F127 dan PES Tetronik 304 telah dimodifikasi dengan penambahan aditif yang berfungsi sebagai agent pembentuk pori, sehingga PES F127 dan Tetronik 304 memiliki

struktur pori yang lebih besar dibandingkan dengan struktur pori pada membran PES Original. Nilai Permeabilitas larutan BSA pada awal operasi untuk membran PES F127, PES Tetronik 304 dan PES Original berturut-turut adalah 208,19399 L/m².h.atm; 90,7592 L/m².h.atm; 14,3816 L/m².h.atm, dengan bertambahnya waktu maka permeabilitas larutan BSA semakin menurun.

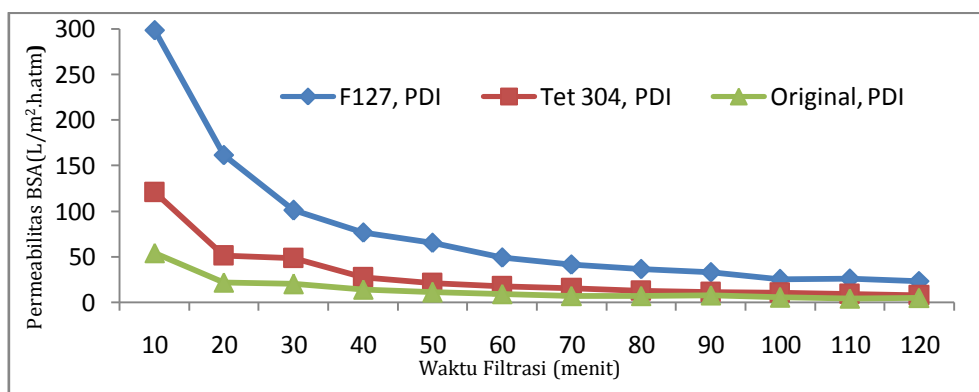


Gambar 2. Hubungan Waktu dengan Permeabilitas Larutan BSA pada Larutan pH Rendah

3.2 Profil Permeabilitas Larutan BSA Tiga Jenis Membran pada pH Tinggi

Pengaruh waktu filtrasi terhadap permeabilitas larutan BSA pada larutan pH tinggi dapat terlihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa seiring berjalannya waktu operasi maka permeabilitas larutan BSAnya semakin menurun hingga konstan. Kinerja paling baik dimiliki oleh membran PES F127, dimana permeabilitas membran ini paling tinggi bila

dibandingkan dengan membran yang lainnya. Aditif Pluronic F127 yang ditambahkan selain berfungsi sebagai pembentuk pori juga sebagai menjadikan membran ini menjadi lebih hidrofilik. Permeabilitas larutan BSA dari yang paling tinggi hingga yang paling rendah terjadi pada PES F127, Tetronik 304 dan Original berturut-turut sebesar 298,66154 L/m².h.atm; 120,723 L/m².h.atm; 54,2946 L/m².h.atm.



Gambar 3. Hubungan Waktu dengan Permeabilitas Larutan BSA pada Larutan pH Tinggi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

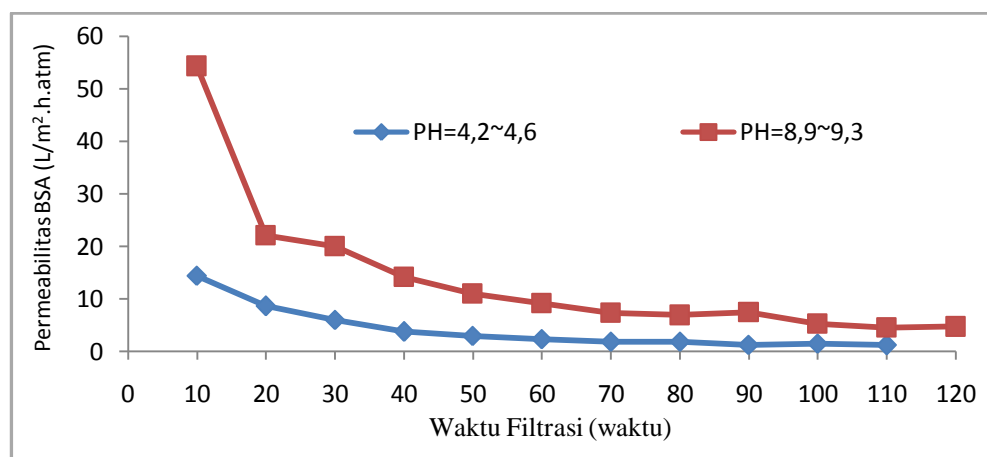
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3.3 Pengaruh waktu dan pH larutan terhadap Permeabilitas larutan BSA pada Membran PES Original

Salah satu parameter yang digunakan untuk melihat kinerja dari membran yang digunakan dalam proses pemekatan protein adalah besarnya permeabilitas larutan BSA yang dapat melewati membran. Gambar 4 memperlihatkan bahwa permeabilitas BSA pada pH tinggi lebih besar dibandingkan pH rendah. Pada larutan protein pH sangat berpengaruh karena dapat mempengaruhi muatan atau charge larutan tersebut. Pada range pH 4,7-5,0 larutan protein bersifat netral karena berada pada titik isoelektrik. Pada titik ini larutan protein tersebut akan membentuk agregat sehingga fluks atau

permeabilitas akan lebih rendah bila dibandingkan pada pH tinggi. Sedangkan pada pH tinggi larutan protein cenderung bermuatan negatif. Sifat ini dapat meningkatkan fluks atau permeabilitas, karena ukuran pori membran semakin besar. Dari gambar tersebut dapat dilihat juga bahwa permeabilitas larutan BSA akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu operasi ultrafiltrasi, semakin banyak pengotoran/fouling yang terjadi pada membran. Karena fluks permeat berbanding lurus dengan volume permeat pada waktu tertentu, maka penurunan volume permeat menyebabkan turunnya permeabilitas larutan BSA (Karamah, E.F., dan Septiyanto, A., 2005)



Gambar 4. Hubungan Waktu dan pH Larutan dengan Permeabilitas larutan BSA pada membran PES Original

3.4 Pengaruh Waktu dan pH larutan terhadap Permeabilitas Larutan BSA pada Membran PES F127

Fenomena yang sama juga terjadi pada membran PES yang telah dimodifikasi dengan Pluronic F 127. pH larutan juga memberi pengaruh yang sama dengan membran PES original. Aditif Pluronic F 127 meningkatkan hidrofilitas dari membran ini ditunjukkan dari harga permeabilitas yang diperoleh lebih tinggi bila dibandingkan dengan membran PES original. Pengaruh muatan larutan yaitu bersifat netral pada saat kondisi isoelektrik dan bermuatan negatif pada pH tinggi

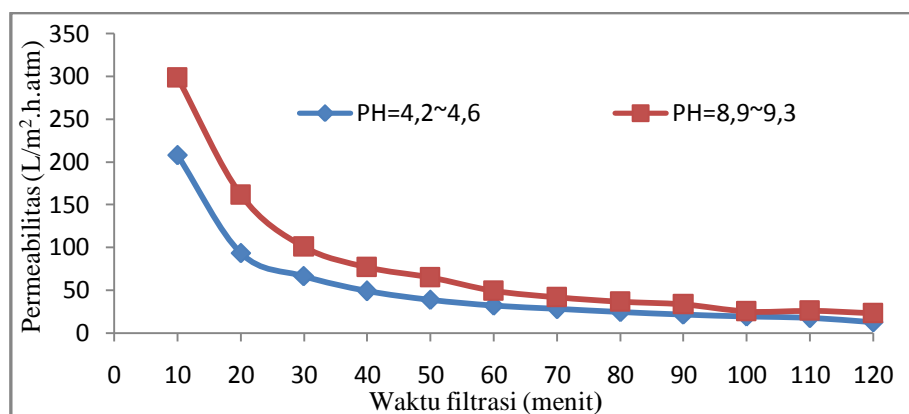
memberikan hasil permeabilitas pada pH tinggi lebih tinggi dibandingkan pada pH rendah. Peningkatan muatan negatif membran pada permukaan membran dapat memperbesar ukuran pori dari membran (Utami, N.W., Iqbal, R., dan Wenten, I.G., 2010). Dari Gambar 5 dapat dilihat larutan umpan BSA dengan pH tinggi menghasilkan permeabilitas larutan BSA yang besar yaitu sebesar 298,66154 L/m².h.atm sedangkan larutan umpan dengan pH rendah permeabilitas larutan BSAnya sebesar 208,19399 L/m².h.atm.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

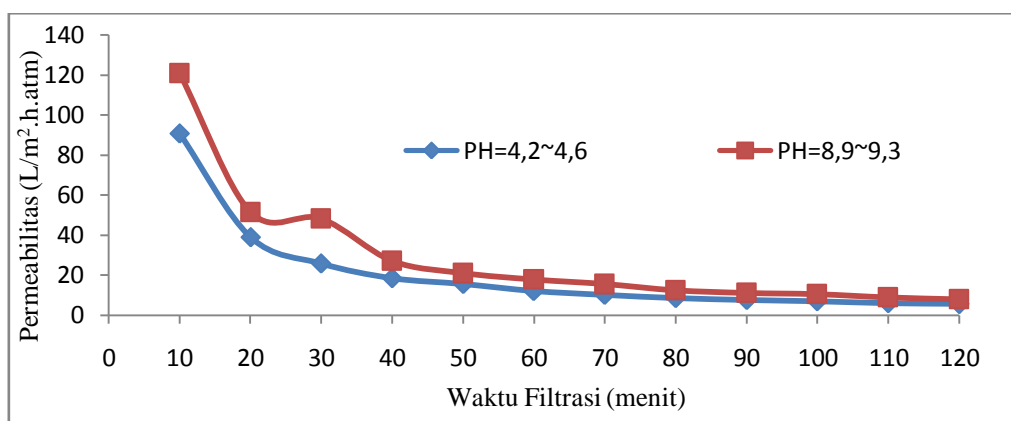


Gambar 5. Hubungan Waktu dan pH Larutandengan Permeabilitas larutan BSA pada MembranPES F127

3.5. Pengaruh Waktu dan pH Larutan terhadap Permeabilitas Larutan BSA pada Membran PES Tetronik 304

PES Tetronik 304 PH tinggi memiliki nilai permeabilitas larutan BSA yang lebih tinggi dibandingkan dengan PES tetronik 304

PH rendah. Permeabilitas yang lebih baik dapat dilihat pada waktu awal operasi, membran PES tetronik 304 PH tinggi memiliki permeabilitas larutan BSA sebesar 120,723 L/m².h.atm sedangkan yang PH rendah sebesar 90,7592 L/m².h.atm.



Gambar 6. Hubungan Waktu dan pH Larutandengan Permeabilitas larutan BSA pada Membran PES Tetronik 304

Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa peningkatan PH menyebabkan Charge permukaan membran semakin negative akibat deprotonasi gugus fungsi dari material membran. Peningkatan charge ini menyebabkan ukuran porimembran semakin besar karena gaya tolak menolak antara gugus fungsi (Utami, N.W., Iqbal, R., dan Wenten, I.G., 2010) sehingga permeabilitas larutan BSA yang dihasilkan pada PH tinggi semakin besar

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat di simpulkan bahwa pemisahan dan pemurnian protein albumin dengan metode ultrafiltrasi (UF) menggunakan membran Hollow fiber dengan larutan BSA pH tinggi dan pH rendah menggunakan tiga jenis yaitu membran PES F127, Tetronik 304, dan Original. Hanya membran PES F127 dengan larutan pH tinggi memiliki permeabilitas



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

larutan BSA yang paling tinggi yaitu sebesar 298,66154L/m².h.atm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chiang, B.H., Su, C.K., Tsai, G.J., Tsao, G.T., "Egg White Lysozyme Purification by Ultrafiltration and Affinity Chromatography", *Journal of Food Science*, 1993, 58 (2),303-306
- Datta, D., Bhattacharjee, S., Nath, A., Das, R., Bhattacharjee, C., Datta, S., "Separation of ovalbumin from chicken egg white using two-stage ultrafiltration technique", *Separation and Purification Technology*, 2009,66, 353-361
- Karamah, E.F., Septiyanto, A., Pengaruh Suhu dan Tingkat Keasaman (pH) pada tahap Pralakuan Koagulasi (Koagulan aluminum Sulfat) dalam Proses Pengolahan Air menggunakan Membran Mikrofiltrasi Polipropilen Hollow fibre, Departemen Teknik gas dan Petrokimia, Fakultas teknik Universitas Indonesia, Depok, 2005
- Mayani, M., Carlos Filipe, C.M.F., Raja Ghosh, R., "Cascade ultrafiltration systems—Integrated processes for purification and concentration of lysozyme", *Journal of Membrane Science*, 2010, 347, 150-158
- Matsuyama, H., Shimomura, T., Teramoto, M., Formation and characteristics of dynamic membrane ultrafiltration of protein in binary protein system, *Journal of Membrane Science*, 1994,92, 107-115.
- Owen, R.O., dan Chase, H.A., Direct purification of lysozyme using continuous counter-current expanded bed adsorption, *Journal of Chromatography A*, 1997, 757, 41-49.
- Rifaid, N., Sebuah Studi tentang Fenomena Fouling pada Membran Hollow Fiber, Pusat Pengembangan Pengolahan Limbah Radioaktif, 2004
- Wang, Y-P., Shi, B "Concentration of gelatin solution with polyethersulfone ultrafiltration membranes", *Food and Bioproducts Processing*, 2011, 89, 163-169.
- Utami, N.W., Iqbal, R., Wenten, I.G., Karakteristik Rejeksi Endosulfan dengan Membran Reverse Osmosis Tekanan Rendah, ITB, Bandung, 2010



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENINGKATANKETAHANAN OKSIDASI PELUMASBIO – BASED : REAKSI PROPIL PARABENDENGAN FORMALDEHIDA

Dicky Dermawan¹, Nerico Dwi Gunawan¹, Rama Regawa Sri Anggayana¹

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional

Jl. PHH Mustafa No. 23 Bandung 40124

Email: dickydermawan@gmail.com

Abstrak

Persoalan terbesar dalam mengembangkan pemanfaatan minyak nabati sebagai sumber alternatif bahan pelumas terletak pada studi mengenai perbaikan ketahanan oksidasi dari bahan ramah lingkungan ini. Sekalipun antioksidan fenolik memiliki keunggulan dalam mencegah terbentuknya *sludge* dan *deposit*, hasil-hasil studi terdahulu menunjukkan bahwa kinerja *radical scavenger* ini *inferior* bila dibandingkan dengan amina aromatik. Pada makalah ini dilaporkan perbaikan kinerja suatu antioksidan fenolik berupa propil paraben melalui reaksi dengan paraformaldehida dalam pelarut asam asetat glasial. Rasio molar reaktan divariasikan untuk memperoleh efek peningkatan ketahanan oksidasi yang optimum. Bahan dasar pelumas *bio-based* yang diuji memenuhi spesifikasi viskositas pelumas mesin otomotif SAE 50. Metode uji ketahanan oksidasi dilakukan secara katalitik: 100 gram sampel ditempatkan dalam tabung uji berisi katalis berupa logam tembaga dan besi yang dijaga pada suhu konstan 150°C. Kontak dengan oksigen dilakukan dengan cara mengalirkan udara melalui *diffuser*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa reaksi dengan formaldehida memberikan perbaikan kinerja sangat signifikan terhadap kinerja propil paraben sebagai antioksidan.

Kata kunci: pelumas *bio-based*, ketahanan oksidasi, antioksidan fenolik, propil paraben, formaldehida

Abstract

Sterically hindered phenols are known to be superior in inhibiting sludge and deposit formation. However, previous study in attempt to improve oxidation stability of experimental bio-based lube oil showed that this class of radical scavenger antioxidant is inferior to aromatic amine, particularly in inhibiting oil bodying caused by oxidative degradation. This paper reports an attempt to improve antioxidant property of a phenolic antioxidant, namely propyl paraben, using formaldehyde. Two reaction steps in aqueous solution involved, namely base-catalyzed metylolation and acid-catalyzed methylene bridge formation, were carried out in one pot. Molar ratio of propyl paraben/formaldehyde (PP/F) was varied between 0,8 – 1,1 to reveal optimum effect of oxidation stability improvement. The base oil used meets SAE 40 engine oil classification. Results of the experiment showed that the reaction of propyl paraben with formaldehyde was significantly improving its antioxidant activity. In the oxidation stability test setup, the best result showed improvement of oil bodying from 79% - 93% kinematic viscosity increase to only 21% - 40% kinematic viscosity increase. This result was accompanied by improvements in viscosity indices and the decrease in corrosiveness, particularly to copper.

Keywords: *bio-based lube oil, phenolic antioxidant, propyl paraben, formaldehyde*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

Persoalan terbesar dalam mengembangkan pemanfaatan minyak nabati sebagai sumber alternatif bahan pelumas terletak pada studi mengenai perbaikan ketahanan oksidasi dari bahan ramah lingkungan ini. Studi formulasi terdahulu terhadap bahan dasar pelumas *bio-based* yang sedang dikembangkan dengan beragam antioksidan menunjukkan bahwa antioksidan fenolik memiliki keunggulan dalam mencegah terbentuknya *sludge* dan deposit, tetapi kinerja *radical scavenger* ini inferior bila dibandingkan dengan antioksidan-antioksidan amina aromatik.

Rohrbach (2004) menekankan keuntungan yang didapat dari penggunaan antioksidan fenolik bermassa molekul relatif tinggi. Rendahnya volatilitas mengakibatkan bahan ini memberikan *evaporation loss* yang rendah pula sehingga antioksidan ini menunjukkan efektivitas lebih baik. Disamping itu, antioksidan fenolik bermassa molekul rendah relatif mudah terekstrak oleh air yang mengkontaminasi pelumas sehingga penggunaannya dapat memberikan dampak pada proses-proses biologi untuk pengolahan limbah. Pemikiran ini mengarahkan pengembangan antioksidan makromolekular (Canter, 2005). Beragam teknik digunakan untuk pengembangan antioksidan makromolekular. Dhawan & Cholli (2006) menggunakan proses polimerisasi senyawa fenolik diikuti dengan alkilasi. Cholli dkk (2008) membentuk antioksidan makromolekular melalui pendekatan sintetik *post coupling*: mula-mula dibentuk polimer yang mengandung gugus reaktif diikuti dengan penempelan molekul antioksidan pada polimer ini. Proses enzimatik untuk membuat antioksidan polimer *food grade* dideskripsikan Cholli dkk (2009, 2010). Teknik lain menyangkut eterifikasi parsial antioksidan fenolik, diikuti dengan polimerisasi dan penataaulangan (Yang & Cholli, 2010).

Penggunaan formaldehida sebagai pembentuk jembatan metilen yang

merangkaikan cincin aromatik fenol sebenarnya merupakan praktek lama yang lazim digunakan pada pembuatan polimer fenol – formaldehida, tetapi baru menjadi klaim untuk pembuatan antioksidan makromolekular pada tahun 2011 (Cholli & Kumar, 2011). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan antioksidan bermassa molekul tinggi dari propil paraben yang dirangkai dengan jembatan metilen yang dibentuk oleh formaldehida. Propil paraben sendiri merupakan antioksidan fenolik yang semula tidak dipertimbangkan untuk dipelajari lebih lanjut karena kinerjanya yang buruk (Dermawan, 2008). Penyebab struktural dari rendahnya aktivitas antioksidan propil paraben adalah kurang terlindunginya gugus hidroksi fenol secara sterik karena tidak tersubstitusinya kedua posisi ortho- di kedua cincin aromatiknya. Substitusi atom H oleh gugus metilen diharapkan akan memperbaiki kinerjanya melalui peningkatan stabilisasi oleh resonansi sekaligus penurunan tekanan uap yang mengikuti peningkatan massa molekul karena terbentuknya polimer melalui jembatan metilen.

Pengikatan molekul propil paraben yang satu dengan molekul propil paraben lain melalui jembatan metilen pada gugus ortho akan menghasilkan rantai molekul yang linier. Molekul linier yang panjang memungkinkan diperolehnya produk yang masih mudah dilarutkan dalam pelumas. Kelarutan dalam bahan dasar pelumas yang digunakan juga didukung oleh adanya gugus ester propil pada senyawa ini, yaitu gugus fungsional dari bahan dasar pelumas yang dikembangkan. Keuntungan lain yang mungkin diperoleh sebagai efek ikutannya adalah peningkatan indeks viskositas (Murphy, 1950). Indeks viskositas adalah ukuran bagi sensitivitas pelumas terhadap perubahan temperatur. Secara kualitatif dapat dikemukakan bahwa semakin tinggi indeks viskositas, semakin stabil viskositas pelumas terhadap perubahan temperatur. Penambahan aditif polimer untuk meningkatkan indeks viskositas pelumas



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

merupakan praktek yang lazim digunakan dalam formulasi pelumas.

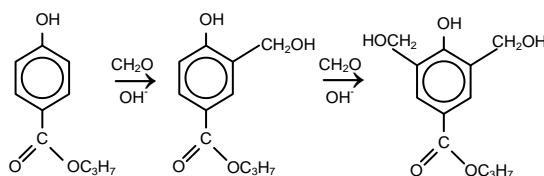
Panjang rantai yang diperoleh sangat bergantung pada rasio reaktan yang bereaksi. Reaksi antara 2 mol propil paraben dengan satu mol formaldehida (rasio molar PP/F = 2) menghasilkan satu mol produk yang terdiri dari 2 unit propil paraben yang terhubung oleh satu jembatan metilen. Reaksi antara 3 molekul propil paraben dengan 2 molekul formaldehida (rasio molar PP/F = 1,5) menghasilkan satu mol produk yang terdiri dari 3 unit propil paraben yang terhubung oleh 2 jembatan metilen. Ekstrapolasi gagasan ini lebih lanjut mengarah pada kesimpulan bahwa pada rasio molar PP/F = 1 semua reaktan yang bereaksi secara teoritis akan terkonversi menjadi satu molekul produk dengan rantai molekul yang sangat panjang. Jadi, untuk menghasilkan produk dengan rantai molekul yang panjang, propil paraben dan formaldehida harus diumpangkan secara ekimolar.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Gliserin, asam oleat, soda kaustik, zeolit, profil paraben, serta paraformaldehida yang digunakan adalah bahan-bahan dengan *grade* teknis yang diperoleh dari pemasok bahan kimia eceran lokal: Brataco Chemica, Bandung. Kecuali zeolit yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 110°C, semua bahan lain digunakan tanpa perlakuan awal.

Kegiatan penelitian meliputi pembuatan bahan dasar pelumas dan pembuatan aditif, diikuti dengan formulasi dan uji kinerjanya. *Pelumas bio-based* yang digunakan merupakan senyawa ester kompleks yang dibuat melalui tahapan reaksi: 1) Dehidrasi gliserol, dilakukan dengan atmosfer inert nitrogen pada suhu 250°C selama 2 jam dengan bantuan katalis NaOH 1%; 2) Stabilisasi asam oleat, dilakukan dengan atmosfer inert nitrogen pada suhu 230°C dengan bantuan katalis zeolit halus sebanyak 5% selama 3 jam; 3) Esterifikasi antara produk kedua reaksi terdahulu. Setelah esterifikasi berakhir, ditambahkan pula 0,01% berat *antifoaming agent* silikon.

Pembuatan aditif pada prinsipnya mengadopsi proses pembuatan resin fenol – formaldehida. Sekitar 10 gram propil paraben (0,05 mol) dilarutkan dengan 100 mL larutan NaOH 0,02 M di dalam reaktor berupa labu erlenmeyer berleher tiga yang dilengkapi dengan adapter, termometer, dan kondensor. Campuran dipanaskan sambil diaduk di atas *magnetic stirrer hotplate* hingga suhu mencapai 80°C. Kontak dengan udara diminimalkan dengan cara mengalirkan gas inert nitrogen. Paraformaldehida yang telah dilarutkan dalam 100 mL NaOH 0,02 M selanjutnya ditambahkan sehingga terjadi reaksi pembentukan senyawa metilol:



Rasio mol propil paraben terhadap formaldehida divariasikan antara 0,8 hingga 1,1. Campuran diaduk selama 1 jam dengan harapan seluruh propil paraben dan seluruh formaldehida bebas habis terkonversi. HCl

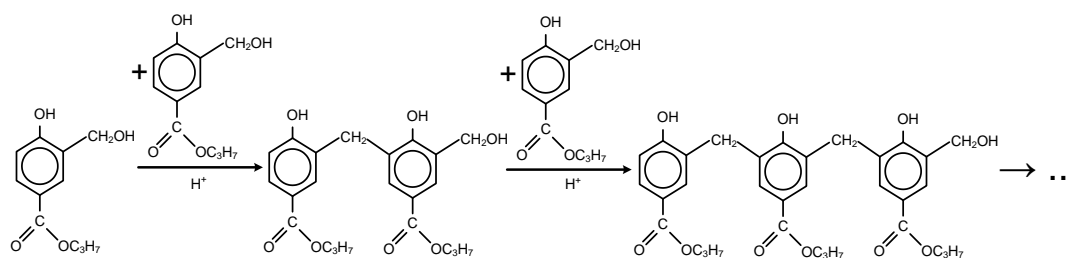
kemudian diteteskan untuk mengubah suasana menjadi asam. Kondisi ini diperlukan untuk mempercepat reaksi antara gugus metilol dengan cincin aromatik yang belum tersubstitusi membentuk jembatan metilen:



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



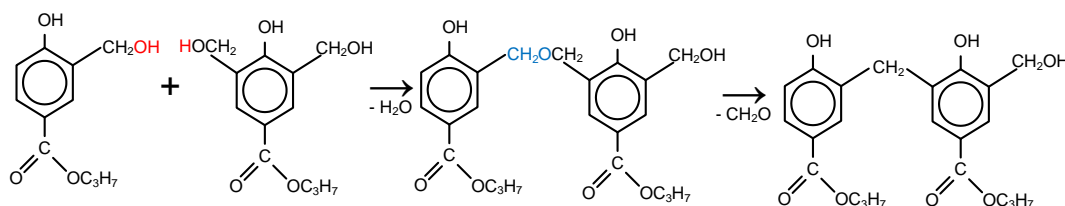
Campuran kemudian dipanaskan hingga suhu 90°C dan dijaga pada suhu ini selama 3 jam. Campuran lalu dipanaskan sampai suhu 110°C untuk menguapkan semua pelarut hingga didapatkan produk berupa cairan kental yang membentuk padatan putih kekuningan saat didinginkan.

Formulasi dilakukan dengan cara *blending* bahan dasar pelumas dengan aditif. Untuk keperluan komparatif, pada semua formulasi dicampurkan 100 gram bahan dasar dengan aditif yang mengandung 2 gram propilparaben. Uji kinerja aditif: sampel sebanyak 100 gram ditempatkan dalam gelas uji. Suhu gelas *beaker* berisi sampel dijaga tetap pada 150°C. Ke dalam sampel dialirkan udara dan ditambahkan logam berupa tembaga dan besi dengan luas permukaan dan massa berturut-turut 8 in² (166 gram) dan 16 in² (245 gram). Pengujian dilakukan selama 24 jam. Kehilangan berat spesimen logam setelah pengujian dijadikan kriteria penilaian korosivitas. Kenaikan viskositas kinematik digunakan sebagai ukuran ketahanan oksidasi: oksidasi pelumas cenderung meningkatkan viskositas pelumas. Jadi, sampel dengan kenaikan viskositas terkecil merupakan sampel dengan ketahanan oksidasi terbaik. Viskositas diukur pada suhu 40°C dan 100°C menurut ASTM D-445. Indeks viskositas dihitung berdasarkan ASTM D-2270.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Aditif

Tabel 1 menunjukkan perolehan aditif yang dihasilkan sebagai fungsi dari rasio molar PP/F. Tampak bahwa metode pembuatan yang digunakan secara umum berhasil memberikan perolehan produk yang secara praktis kuantitatif. Perolehan produk terendah diperoleh pada rasio molar PP/F 1,1. Pada rasio ini, jumlah mol umpan propilparaben lebih banyak daripada formaldehid yang tersedia, sehingga pada akhir tahap metilolasi masih terdapat propilparaben sisa yang tidak bereaksi. Pada tahap polimerisasi, gugus metilol yang bereaksi dengan propilparaben tak terkonversi ini akan menghentikan proses pembentukan polimer sehingga tidak diperoleh polimer dengan massa molekul tinggi. Sebaliknya, pada rasio reaktan P/F di bawah satu, diperoleh propilparaben dengan 2 gugus metilol sehingga gugus ujung dari rantai polimer ini akan merupakan gugus metilol. Berbeda dengan kasus sebelumnya, gugus metilol dapat bereaksi dengan gugus metilol lain membentuk metilen eter yang pada suhu tinggi dapat terkonversi menjadi jembatan metilen, sehingga pertumbuhan rantai polimer tidak terhenti akibat kelebihan gugus metilol ini:





Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 1. Perolehan Aditif

Rasio Molar P/F	Perolehan, %
1,1	92,46
1,0	96,75
0,9	96,81
0,8	94,67

a. Pengaruh Formulasi terhadap Viskositas dan Indeks Viskositas

Tabel 2 menunjukkan viskositas dan indeks viskositas bahan dasar yang diformulasikan dengan aditif yang dibuat. Kecuali sampel pertama yang merupakan bahan dasar tanpa antioksidan yang digunakan sebagai pembanding, semua sampel diformulasikan pada kandungan propil paraben yang sama, yaitu pada kadar 2% berat. Nampak bahwa penambahan propil paraben memberikan kenaikan viskositas pada bahan dasar yang digunakan. Penambahan aditif hasil reaksi memberikan kenaikan viskositas lebih tinggi karena aditif ini bermassa molekul relatif lebih tinggi.

Nampak bahwa kenaikan viskositas tertinggi, sebagaimana diharapkan, diperoleh pada produk dari reaksi dengan rasio reaktan propil paraben terhadap formaldehida P/F = 1,0. Ditunjukkan pula, sesuai dengan harapan, bahwa formulasi dengan aditif yang dibuat memberikan peningkatan pada indeks viskositas yang mencapai nilai tertinggi pada rasio reaktan yang sama. Pemberian propil paraben berlebih (PP/F =1,1) akan memberikan produk berupa campuran antara polimer dengan sisa propil paraben tak bereaksi sehingga memberi efek yang tidak menguntungkan. Sifat produk yang dihasilkan praktis berada di antara sifat polimer dan sifat propil paraben yang tidak direaksikan.

Tabel 2. Pengaruh Formulasi terhadap Viskositas dan Indeks Viskositas pada Kadar Propil paraben 2%

Formulasi	Viskositas Kinematik [=] cSt		Indeks Viskositas (ASTM D-2270)
	40 °C	100 °C	
Tanpa antioksidan	112,0	12,52	103
Propil paraben	118,6	12,82	100
P/F 1,1	119,0	13,20	105
P/F 1,0	126,7	15,50	128
P/F 0,9	125,0	14,45	116
P/F 0,8	124,3	14,25	114

b. Efektivitas Produk sebagai Antioksidan

Tabel 3 menunjukkan kenaikan viskositas kinematik sampel uji akibat oksidasi yang dilangsungkan selama 24 jam pada suhu 150°C. Nampak bahwa secara umum, baik hasil pengukuran pada suhu 40°C maupun pada 100°C, menunjukkan bahwa oksidasi mengakibatkan kenaikan viskositas kinematik yang relatif tinggi.

Perbandingan ketahanan oksidasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, mengindikasikan bahwa propil paraben yang tidak direaksikan bukan merupakan aditif yang efektif menghambat oksidasi karena praktis tidak memberikan perbaikan pada penghambatan kenaikan viskositas pelumas akibat oksidasi. Hasil ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan terdahulu (Dermawan, 2008). Hasil yang berbeda diperoleh pada semua produk yang dibuat: perbaikan ketahanan oksidasi tampak nyata dari kenaikan viskositas kinematik yang relatif



Seminar Nasional Intergrasi Proses

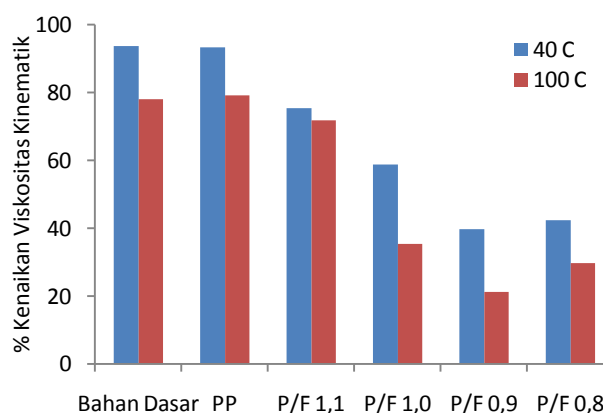
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

lebih rendah daripada bahan dasar yang tidak diformulasi dengan propil paraben yang tidak diformulasi maupun bahan dasar yang direaksikan.

Tabel 3. Kenaikan Viskositas akibat Oksidasi (24 jam @ 150°C) pada Kadar Propil paraben 2%

Formulasi	Viskositas Kinematik [=] cSt, diukur pada:			
	40 °C		100 °C	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Tanpa antioksidan	112,0	216,9	12,52	22,28
Propil paraben	118,6	229,2	12,82	22,96
P/F 1,1	119,0	208,7	13,20	22,67
P/F 1,0	126,7	199,7	15,50	20,38
P/F 0,9	125,0	174,6	14,45	17,51
P/F 0,8	124,3	177,1	14,25	18,75



Gambar 1. Perbandingan Efektivitas Antioksidan

Perbaikan maksimum diperoleh pada rasio umpan P/F = 0,9. Diduga, rasio reaktan optimum yang *riil* bereaksi adalah dekat 1 : 1, yaitu rasio yang akan memberikan *high polymer*. Sebagian reaktan formaldehida, karena volatilitasnya yang relatif tinggi, dapat teruapkan bersama dengan aliran gas inert sehingga untuk menghasilkan rasio *riil* yang bereaksi 1 : 1 perlu diberikan sedikit formaldehida berlebih untuk mengkompensasi sifat volatilitas ini. Dugaan ini perlu dikonfirmasi ulang pada variasi rasio reaktan yang lebih halus di sekitar rasio 1 : 1.

3.4 Pengaruh terhadap Korosivitas

Pembahasan mengenai pengaruh formulasi dengan antioksidan terhadap ketahanan oksidasi tidak dapat dilepaskan dari pembahasan mengenai korosivitas.

Oksidasi permukaan logam menghasilkan kation-kation logam yang akan terlarut dalam pelumas dan mengkatalisis proses degradasi oksidatif pelumas. Antioksidan dapat secara sukses berhasil menghambat proses oksidasi bahan pelumas, tetapi mengalihkan persoalannya pada permukaan logam yang dilumasi. Tabel 4 menunjukkan kehilangan berat spesimen besi dan tembaga pada uji sama dengan yang dideskripsikan di atas. Sekalipun tidak nampak perubahan yang mencolok, data mengindikasikan bahwa selain memberikan perbaikan pada ketahanan oksidasi, reaksi propil paraben dengan formaldehida berpengaruh pada korosivitas pelumas yang diformulasikan dengannya, khususnya perbaikan korosivitas terhadap tembaga.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 4. Kehilangan Berat Spesimen Besi dan Tembaga (24 jam @ 150°C)

Formulasi	Kehilangan Berat [=] mg/in ²	
	Besi	Tembaga
Tanpa antioksidan	1,1	3,3
Propil paraben	0,8	5,1
P/F 1,1	1,6	4,1
P/F 1,0	1,0	2,5
P/F 0,9	0,7	1,7
P/F 0,8	1,2	3,6

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam upaya peningkatan ketahanan oksidasi bahan pelumas ramah lingkungan, pada makalah ini dilaporkan perbaikan kinerja *radical scavenger* propil paraben dengan cara mereaksikannya dengan formaldehida membentuk antioksidan berberat molekul tinggi. Bahan ini selanjutnya diformulasi dengan pelumas *bio-based* eksperimental dan diuji kinerjanya. Hasil-hasil percobaan menunjukkan bahwa propil paraben yang direaksikan dengan formaldehida memberikan perbaikan secara sangat signifikan terhadap efektivitasnya dalam meredam kenaikan viskositas kinematik pelumas akibat degradasi oksidatif. Pada kondisi pengujian, formulasi dengan 2% propil paraben, hasil terbaik dapat menghambat kenaikan viskositas dari 79% - 93% menjadi hanya 21% - 40%. Hasil ini juga diikuti dengan perbaikan-perbaikan lain berupa kenaikan indeks viskositas serta penurunan korosivitas terhadap tembaga. Upaya perbaikan lebih lanjut terhadap sifat antioksidan dapat dilakukan melalui penerapan prinsip yang sama pada *radical scavenger* lainnya serta formulasi menggunakan campuran dengan antioksidan lain guna mendapatkan efek sinergis.

5. DAFTAR PUSTAKA

Canter N., Developing a New Type of Antioxidant, *Tribology & Lubrication Technology*, Vol. 61, No. 8 (Agustus 2005) hal. 10-12.

Cholli LC.; Dhawan A.; Kumar V.; Kumar J.; Parmar VS.; Samuelson LA.; Bruno FF.,

Polymeric Antioxidants, US Patent 7507454 B2 (Maret 2009)

Cholli LC.; Dhawan A.; Kumar V., Post-Coupling Synthetic Approach for Polymeric Antioxidants, US Patent. 7323511 B2 (Januari 2008)

Cholli AL & Kumar R., Macromolecular Antioxidants Comprising Differing Antioxidant Moieties: Structures, Methods of Making and Using the Same, US Pat 8039573 B1 (Oktober 2011)

Cholli LC.; Kumar V.; Dhawan A.; Kumar J.; Parmar VS.; Samuelson LA.; Bruno FF., Polymeric Antioxidants, US Patent 7754267 B2 (Juli 2010)

Dermawan D., Peningkatan Ketahanan Oksidasi Ester Poligliserol - Estolida Asam Oleat: Pengaruh Aditif Tunggal, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia UPN Veteran Jogjakarta (Februari 2008)

Dhawan A. & Cholli AL., Synthesis of Sterically Hindered Phenol Based Macromolecular Antioxidants, US Patent 2006/0128930 A1 (Juni 2006)

Murphy CJ., Stuctural Guides for Synthetic Lubricant Development, *Industrial Engineering Chemistry Vol. 42, No. 12* (Desember 1950) hal. 2415-2420

Rohrbach P.; Hamblin P.; Reyes-Gavilan J., The Benefits of a High Molecular Weight Phenolic Antioxidant Compared with BHT and 2,6-DTBP, *Tribology & Lubrication Technology; Vol. 60 No.6* (Juni 2004) hal. 56-63

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

Yang S & Cholli LC, Process for the Synthesis
of Polyalkylphenol Antioxidants, US
Patent 7678877 B2 (Maret 2010)



OPTIMISASI PROSES CARBON AND STORAGE SYSTEM DENGAN METODE PINCH

Renanto Handogo^{1*}, Anindya Rachmawati, Aditya Putra, Juwari, Daril Ridho

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

*Email : renanto@chem-eng.its.ac.id

Abstrak

Carbon capture and storage merupakan sebuah system untuk mengurangi emisi karbondioksida (CO₂) dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik dan proses industri. Hal ini melibatkan penangkapan CO₂ untuk penyimpanan berikutnya dalam berbagai formasi geologi. Pemilihan dan pencocokan pembangkit listrik dan lokasi *storage* seringkali merupakan masalah optimisasi proses karena berbagai kendala, yaitu waktu ketersediaan, laju alir injeksi dan batas kapasitas *storage* yang tersedia. Dalam penelitian ini, alat penargetan grafis baru berdasarkan analisis pinch diusulkan untuk mengatasi masalah perencanaan penyimpanan CO₂ yang ditangkap dari *power plant* kesink yang sesuai. Studi kasus dengan 5 source dan 3 sink yang juga tersedia biaya transportasi pengiriman CO₂. Pengoptimalan dilakukan dengan dasar multi periode dengan analisa pinch menggunakan kurva komposit dan *cascade*. Sedangkan untuk pengoptimalan dengan dasar multi region dilakukan dengan program linier. Didapatkan dari kurva komposit tersebut terbagi oleh CO₂ yang ditangkap oleh sink, CO₂ dari source yang membutuhkan *storage* alternative dan *storage* yang telah tersedia namun tidak digunakan dalam system ini. Dengan berbagai variabel delta waktunya itu 0, 5, 10 dan 15 tahun menyebabkan terjadi perbedaan kapasitas dari ketiga kelompok tersebut. Sedangkan dalam multi region, menghasilkan pembagian distribusi CO₂ ke sink dengan berdasarkan biaya transportasi namun source CO₂ dapat ditangkap semua oleh sink yang tersedia. Dari hasil perhitungan *total annualized cost* didapatkan tahun ke - 6,5 dengan cost 75.000.000 USD merupakan titik paling optimum dalam jaringan *carbon capture and storage* ini. Dibandingkan metode program linier dengan *software* GAMS didapatkan hasil dari storage yang sisa yaitu storage 1 tersisa 500 Mt, pada storage 2 tersisa 300 Mt sedangkan storage 3 tidak terdapat storage yang tersisa.

Kata kunci : *Carbon Capture and Storage, source, sink, pinch, cascade*

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu yang sedang hangat dibicarakan di dunia internasional belakangan ini. Pemanasan global ditandai dengan naiknya suhu udara rata-rata global pada permukaan bumi. Studi menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata global telah meningkat sekitar 0,5 – 1,0° F (0,3 – 0,6° C) selama satu abad terakhir. Ini merupakan kenaikan suhu permukaan terbesar dalam 1.000 tahun terakhir dan para ilmuwan memprediksi peningkatan lebih

besar akan terjadi lebih dari satu abad ini. Pemanasan ini sebagian besar disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca terutama karbon dioksida (CO₂) dan metana di atas atmosfer bumi yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil, kegiatan industri, pertanian dan penggundulan hutan.

Carbon Capture and Storage (CCS) merupakan salah satu upaya dengan pendekatan teknik untuk menangkap karbon dan menyimpannya dalam bentuk yang lebih aman. Menurut Kementerian ESDM, CCS



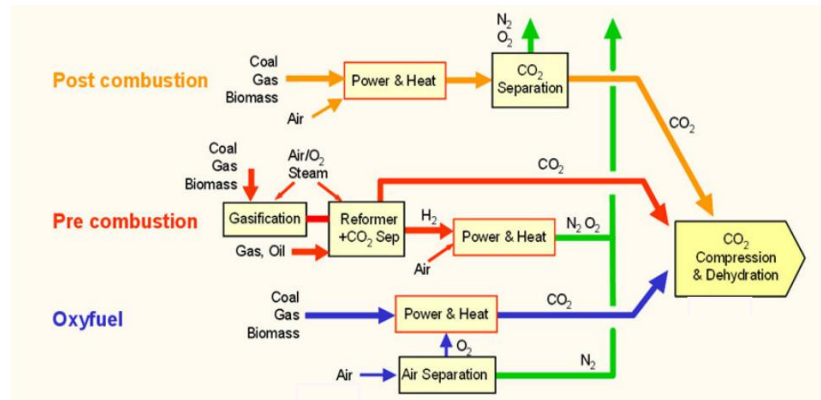
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

merupakan salah satu teknologi mitigasi perubahan iklim yang berpotensi mengurangi emisi CO₂ skala besar hasil dari pembakaran bahan bakar fosil. Teknologi ini merupakan rangkaian kegiatan yang dimulai dari menangkap CO₂ (*capture*) dari sumber-

sumber CO₂ seperti fasilitas pengolahan gas alam dan pembangkit listrik, kemudian mentransportasikannya ke lokasi penyimpanan CO₂ di *geological sink* yang sesuai (*storage*).



Gambar 1. Proses dan Sistem CCS[1]

Teknologi pinch dibangun atas dasar hukum-hukum termodinamika perpindahan panas. Teknologi ini didominasi oleh metode perancangan jaringan penukar panas (*Heat Exchanger Network* atau HEN) yang memberikan penghematan biaya energi optimum. Kemudahan dan unjuk kerjanya yang baik membuat teknologi ini banyak digunakan sebagai metoda standar dalam melakukan perancangan dan analisa sistem proses. Salah satu dari beberapa keuntungan dari Teknologi Pinch dibandingkan dari metode desain konvensional adalah kemampuan untuk mengatur energi dan target biaya untuk proses individual. Oleh karena itu untuk membantu mengidentifikasi semua proyek untuk penghematan energi dan kebutuhan investasi[2].

Terlepas dari pendekatan grafis, teknik aljabar juga dikembangkan dalam mengatasi masalah penyimpanan *Carbon Storage*. *Carbon Storage Cascade Analysis* (CSCA). Kerangka umum untuk CSCA ditampilkan dalam Gambar II.2. Studi kasus tersebut diperbaiki dan diselesaikan dengan menggunakan CSCA untuk menentukan kebutuhan penyimpanan minimum untuk beban CO₂ yang tertangkap. Demikian pula,

pendekatan juga menentukan jumlah kapasitas CO₂ *storage* yang berlebih. CO₂ *flowrate net surplus / deficit cascade* ke bawah dengan interval waktu untuk menghasilkan kapasitas kumulatif dari *surplus / deficit* (FC, k) pada kolom ke-6. Nilai defisit terbesar dalam hal ini merupakan kapasitas penyimpanan minimum yang diperlukan untuk solusi *feasible cascade*. Kelebihan kapasitas penyimpanan (FEX) dari jaringan CCS ditentukan dari interval waktu terakhir dalam tabel *feasible cascade* (di mana tidak terdapat nilai defisit yang ditemukan dalam kolom ke-6)[3].

Optimisasi dengan berdasarkan multi region menggunakan General Algebraic Modeling System (GAMS) adalah bahasa pemrograman yang menyediakan kerangka dasar yang fleksibel untuk merumuskan dan memecahkan linear, nonlinear dan optimasi *mixed-integer problem*. *Syntax* yang lain memungkinkan untuk menyatakan antar variabel, konstanta, dan kendala dalam bentuk set. Melalui *syntax* ini, file *input* menyerupai dengan formulasi dari *problem optimization*. Selain itu, GAMS menyediakan beragam *solver* untuk mengoptimalkan berbagai formulasi masalah termasuk *linear*

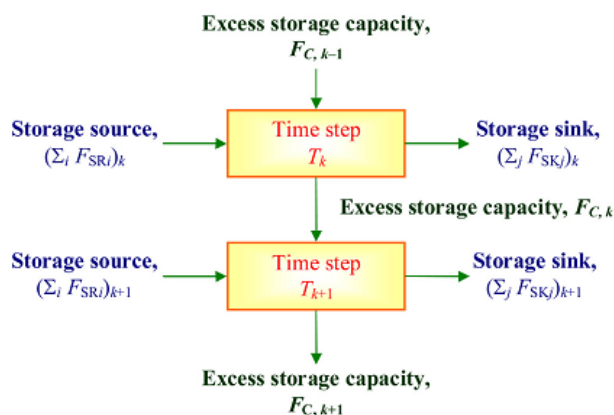


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

programs (LPs), non-linear programs (NLPs), GAMS disebut MIPS), dan mixed-integer non-linear programs (MILPs, tetapi dalam linear programs (MINLPs)[4].



Gambar 2. Konsep Carbon Storage Cascade Analysis (CSCA)

2. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem yang ditinjau adalah *Storage system* dalam *Carbon Capture and Storage (CCS)*.
2. Metode yang digunakan untuk optimasi jaringan dalam sistem *Carbon Capture and Storage (CCS)* adalah metode Pinch.
3. Sistem CCS diasumsikan terdiri dari m CO_2 source, n CO_2 sink, source dan sink dapat mulai beroperasi pada setiap saat selama perencanaan.
4. Setiap i CO_2 source ($i = 1, 2, \dots, m$) ditandai dengan *flowrate* penangkapan CO_2 yang sesuai dengan potensi maksimum dari penghilang angas buang pabrik. Selain itu,

operasi dari masing - masing sumber juga didefinisikan.

5. Setiap j CO_2 sink ($j = 1, 2, \dots, n$) ditandai dengan batas atas untuk kapasitas penyimpanan CO_2 ; *maximum rated* mana CO_2 dapat diinjeksikan ke setiap *sink* yang telah diberikan. Kedua karakteristik ini didasarkan pada karakteristik *geological storage*.

3. URAIAN PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Dari studi literatur, maka pada penelitian ini diberikan empat variabel yaitu dT (beda waktu) 0 tahun, 5 tahun, 10 tahun, dan 20 tahun. Berikut adalah data yang akan digunakan pada penelitian ini:

Tabel 1. Data Source dan Sink

Source	CO_2 flowrate (Mt/y)	CO_2 Load (Mt)	Start Time (y)	End Time (y)
1	15	300	0	20
2	5	150	0	30
3	5	150	5	30
4	20	400	10	40
5	10	400	0	20
Total	n/a	1400	n/a	n/a



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

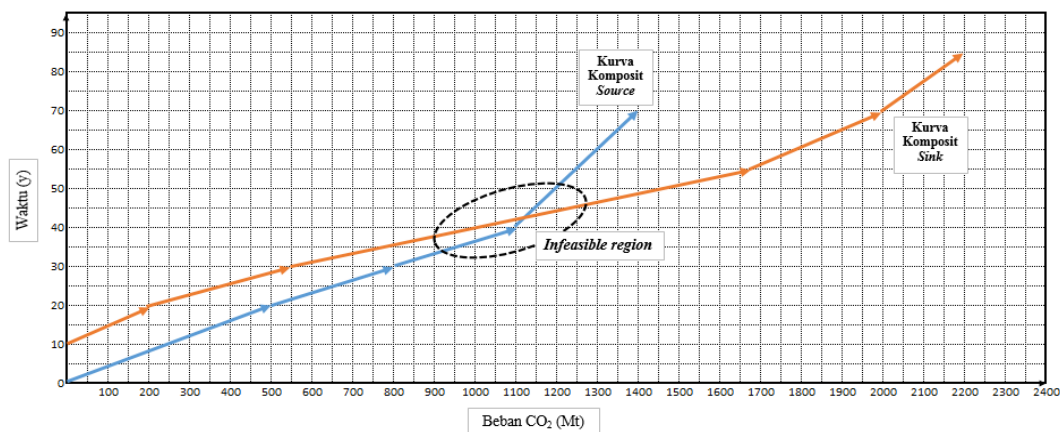
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Sink	Injectivity (Mt/y)	Storage Capacity (Mt)	Earliest time available (y)	Characteristic end time (y)
1	25	900	10	55
2	15	750	20	70
3	10	550	30	85
Total	n/a	2200	n/a	n/a

3.2 Optimasi Berdasarkan Multi Periode

Pada setiap interval waktu, setiap bagian *source* digabung menjadi sebuah bagian kurva komposit, dengan cara menambahkan garis secara diagonal. Pergantian bagian komposit akan dimulai dari ujung akhir dari bagian

sebelumnya, yang nantinya digabung menjadi sebuah kurva komposit *source*. Begitu halnya dengan kurva komposit *sink* juga dilakukan hal yang sama seperti kurva komposit *source*[5].



Gambar 3. Penggabungan Kurva Komposit *Source* dan *Sink*

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa posisi relatif kurva komposit tersebut mengindikasi terjadi tumpang tindih antara kurva komposit *source* dan *sink*. Hal tersebut tidak mungkin terjadi dalam kejadian nyata, sehingga disebut sebagai *infeasible region*. Sebagian dari kurva komposit *sink* berada disebelah kiri dari kurva komposit *source* yang berarti bahwa *sink* hanya siap setelah *source* tersedia.

Defisit tersebut dapat ditafsirkan sebagai penundaan keputusan untuk menangkap CO₂, hingga internal waktu *sink* (*storage*) sudah tersedia untuk digunakan. Wilayah dimana kedua kurva komposit tumpang tindih satu sama lain menyiratkan bahwa hanya 1.100 Mt dari CO₂ dapat dikirim dari *source* ke *sink* yang tersedia. Kurva komposit tersebut

menunjukkan berada pada waktu 20 tahun terjadi titik pinch dengan delta waktunya adalah 0. Dengan kata lain, pertemuan kedua kurva komposit tersebut berada pada titik pinch. Observasi lanjut pada diagram pinch tersebut yaitu tersedianya kapasitas *storage* sebesar 1.100 Mt yang tidak digunakan sebagai *sink* dari *source* tersebut. CO₂ yang ditangkap sebesar 1.100 Mt mempresentasikan bahwa 50% dari 2.200 Mt yang dapat disimpan didalam 3 *sink* tersebut.

Titik Pinch pada diagram tersebut membagi sistem tersebut menjadi 2 wilayah. Sebelum titik pinch, terdapat wilayah dimana CO₂ tersebut membutuhkan *storage*. Sementara setelah titik pinch, terdapat eksekusi *storage*. Skenario diatas merupakan salah satu problema yang terjadi pada jaringan ini,



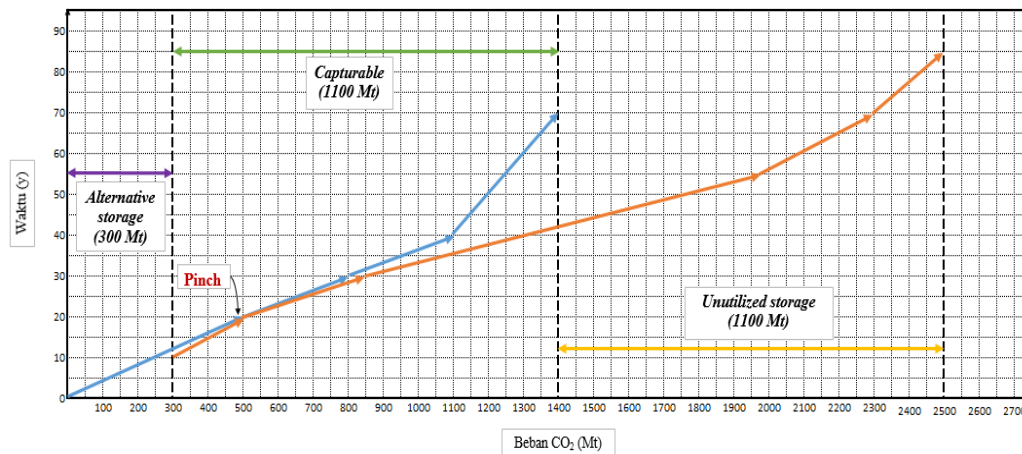
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

karena hampir semua lokasi *storage* yang potensial akan mengalami beberapa keterlambatan sebelum *sink* menerima CO₂ dari *source*. Dari gambar IV.3 menunjukkan bahwa kurva komposit *sink* bermulai pada tahun ke 10. Dengan kata lain, *storage*

alternatif harus dicari pada 10 tahun pertama operasi. Apabila tidak tersedia eksternal *storage*, maka keputusan untuk menangkap CO₂ harus ditangguhkan pada tahun ke 10, pada saat *storage* internal telah siap untuk digunakan.



Gambar 4. Penggabungan Kurva Komposit *Source* dan *Sink* dengan Pinch 0 tahun

Tabel 2. Analisa *Cascade* untuk *Source* dan *Sink* dengan Delta Waktu 0 Tahun

Waktu, t (y)	Source, $S_{i,t}$ (Mt/y)	Sink, $D_{j,t}$ (Mt/y)	Flowrate CO ₂ (Mt/y)	Beban CO ₂ (Mt)	CO ₂ cascade (Mt)	
					Infeasible	Feasible
0	SR1,SR2,SR3				0	AS = 300
10		SK1	-25	-250	-250	50
20	SR4	SK2	-5	-50	-300	0
30	SR5	SK3	5	50	-250	50
40			15	150	-100	200
55			35	525	425	725
70			15	225	650	950
85			10	150	800	US = 1100

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa *sink* 1 menerima CO₂ dari *source* 1 sampai 4 pada rentang waktu tahun ke 10 sampai 40. Sementara itu, CO₂ dari *source* 5 dikirim ke *sink* 2 yang berakhir sampai tahun ke 70. Lalu *sink* 3 yang tersedia mulai tahun ke 30 sampai tahun ke 85 merupakan *storage* yang tersedia tetapi tidak terjadi injektivitas dari *source*. Hal

tersebut diperkuat dengan kurva komposit *sink* yang terakhir sepenuhnya berada pada kanan dan bawah titik pinch, yang berakibat *sink* tersebut tidak menerima CO₂ dari *source*.

Namun, dalam sebuah *plant* yang terjadi tidak mungkin sesuai titik pinch dengan delta waktu 0 tahun. Dari penelitian ini, membahas jaringan optimisasi dengan berbagai variabel

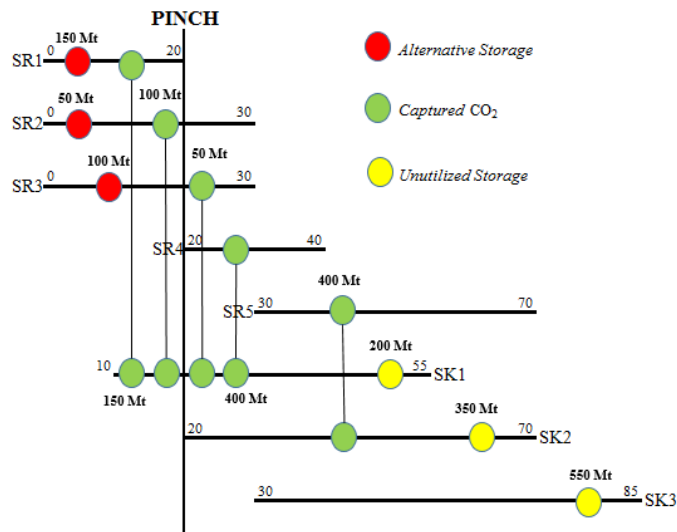


Seminar Nasional Intergrasi Proses
 "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

delta waktu 5, 10 dan 15 tahun. Hal tersebut dilandaskan dengan kejadian nyata pada sebuah *plant carbon capture* yang mengalami keterlambatan (*delay*) pengiriman *source* ke *sink* atau mengalami CO₂ yang lolos dari sistem ini.

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa *sink* 1 menerima CO₂ dari *source* 1 sampai 4 pada rentang waktu tahun ke 10 sampai 40.

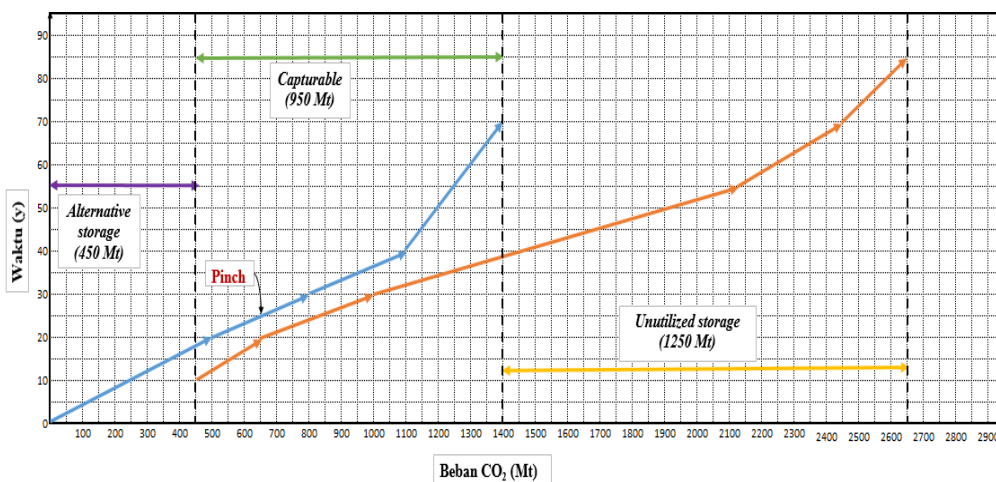
Sementara itu, CO₂ dari *source* 5 dikirim ke *sink* 2 yang berakhir sampai tahun ke 70. Lalu *sink* 3 yang tersedia mulai tahun ke 30 sampai tahun ke 85 merupakan *storage* yang tersedia tetapi tidak terjadi injektivitas dari *source*. Hal tersebut diperkuat dengan kurva komposit *sink* yang terakhir sepenuhnya berada pada kanan dan bawah titik pinch, yang berakibat *sink* tersebut tidak menerima CO₂ dari *source*.



Gambar 5. Diagram Grid CCS dengan Delta Waktu Pinch 0 tahun

Namun, dalam sebuah *plant* yang terjadi tidak mungkin sesuai titik pinch dengan delta waktu 0 tahun. Dari penelitian ini, membahas jaringan optimisasi dengan berbagai variabel delta waktu 5, 10 dan 15 tahun. Hal tersebut

dilandaskan dengan kejadian nyata pada sebuah *plant carbon capture* yang mengalami keterlambatan (*delay*) pengiriman *source* ke *sink* atau mengalami CO₂ yang lolos dari sistem ini.



Gambar 6. Penggabungan Kurva Komposit Source dan Sink dengan Pinch 5 tahun



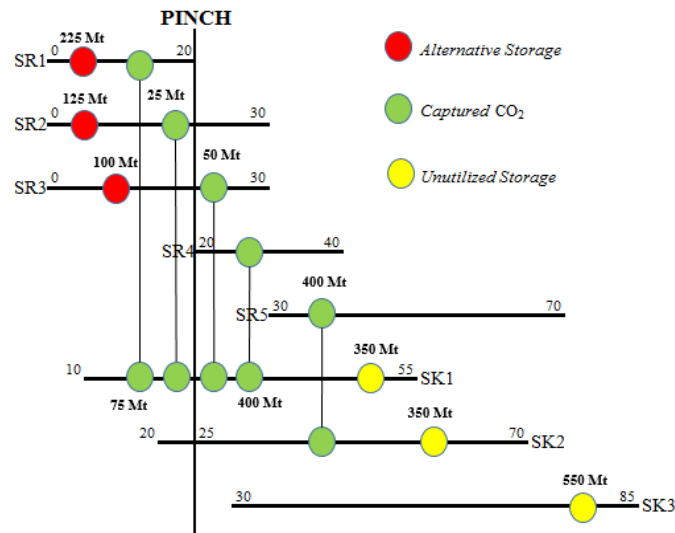
Seminar Nasional Intergrasi Proses
 "Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
 Cilegon, 27 November 2014

Pada gambar 6 menunjukkan bahwa CO₂ dari berbagai *source* dapat ditangkap hanya 950 Mt dari total 1.400 Mt. Hal tersebut menyebabkan bertambahnya defisit CO₂ yang tertangkap dan membutuhkan *storage* alternatif lainnya sebesar 450 Mt. Begitu juga bertambahnya kapasitas *storage* yang tak

digunakan sebesar 1.250 Mt. Pada kasus ini terjadi titik pinch dengan delta waktu 5 tahun yang berada pada waktu tahun ke 20 – 25. CO₂ yang ditangkap sebesar 950 Mt mempresentasikan bahwa 43,2% dari 2.200 Mt yang dapat disimpan didalam 3 *sink* tersebut.

Tabel 3.Analisa Cascade untuk Source dan Sink dengan Delta Waktu 5 Tahun

Waktu, t (y)	Source, S _{i,t} (Mt/y)	Sink, D _{j,t} (Mt/y)	Flowrate CO ₂ (Mt/y)	Beban CO ₂ (Mt)	CO ₂ cascade (Mt)	
					Infeasible	Feasible
0	SR1,SR2,SR3				0	AS = 450
10		SK1	-25	-250	-250	50
20	SR4	SK2	-5	-50	-300	150
25			5	25	-275	175
30	SR5	SK3	5	25	(PINCH)	200
40			15	150	-125	350
55			35	525	400	875
70			15	225	625	1100
85			10	150	775	US = 1250



Gambar 7.Diagram Grid CCS dengan Delta Waktu Pinch 5 tahun

Hal begitu juga yang ditunjukkan oleh tabel 3 yang merupakan tabel *cascade* untuk delta waktu 5 tahun pada tahun ke 20 – 25. Namun, dalam tabel ini tidak menunjukkan letak PINCH dimana, akan tetapi

menunjukkan besarnya *storage* yang dibutuhkan sebagai *storage* alternatif dan kapasitas *storage* yang tidak digunakan.

Pada variabel delta waktu berikutnya yaitu titik pinch dengan delta waktu 10 tahun



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

berada pada waktu tahun ke 20 – 30. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin sedikit CO₂ dari *source* yang tertangkap oleh *sink*, yaitu sebesar 800 Mt. Sisanya CO₂ dari *source* sebanyak 600 Mt memerlukan *storage* alternatif dan juga tersedianya *storage* dengan kapasitas 1.400 Mt yang tidak digunakan untuk menangkap CO₂ dari *source* sistem ini. CO₂ yang ditangkap sebesar 800 Mt mempresentasikan bahwa 36,4% dari 2.200 Mt yang dapat disimpan didalam 3 *sink* tersebut. Terlihat kecenderungan CO₂ yang tertangkap lebih sedikit daripada variabel – variabel sebelumnya.

Diagram Grid CCs dengan delta waktu Pinch 10 tahun menunjukkan bahwa alokasi CO₂ pada sistem *carbon capture and storage* ini terjadi pada *sink* 1 yang menerima CO₂ dari *source* 4 setelah titik pinch terjadi. Sedangkan CO₂ dari *source* 1, 2 dan 3 tidak ditampung oleh ketiga *sink* tersebut dan akhirnya membutuhkan *storage* alternatif. Sementara itu, *source* 5 masih ditampung oleh *sink* 2.

*Sink*3 tidak menerima CO₂ dari sistem *carbon capture and storage* ini, hal tersebut diperkuat dengan *sink* 3 tersedia pada tahun ke 30.

Pada kasus selanjutnya yaitu terjadi titik pinch dengan delta waktu 15 tahun pada tahun ke 20 – 35. Pada tabel 5 menunjukkan bahwa CO₂ dari *source* 4 dikirim ke *sink* 1 sejumlah 250 Mt dan *source* 4 mengirim 400 Mt CO₂ ke *sink* 2. Sementara itu *sink* 3 berupa *storage* yang tersedia untuk digunakan sebagai *sink* sistem *carbon capture and storage* yang lain. Dari diagram alokasi CO₂ tersebut akan diperoleh sebuah *total capital cost* yang dibutuhkan pada sistem jaringan *carbon capture and storage* ini. Hanya sekitar 22% CO₂ yang dapat ditangkap oleh sistem ini.

Dari beberapa variabel diatas, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa optimasi terbaik terjadi pada saat variabel delta waktu 5 tahun. Hal tersebut dapat dilihat persen CO₂ yang dapat tertangkap dibanding dengan ketersediaan kapasitas *storage* yang ada.

Tabel 4. Hasil Perhitungan CCS dengan Diagram Pinch dan Analisa *Cascade*

Δy (year)	Alternative Storage (Mt)	Carbon Capturable (Mt)	Unutilized Storage (Mt)	% CC
0	300	1100	1100	50
5	450	950	1250	43,2
10	600	800	1400	36,4
15	750	650	1600	29,5
20	900	500	1700	22,7

3.3 Optimasi Berdasarkan Multi Region

Pada tabel dibawah ini menunjukkan bahwa *transportation cost* merupakan *pipeline instalation cost* karena CO₂ yang berasal dari

plant didistribusikan ke *storage-storage* yang tersedia menggunakan *pipeline*. Pada studi kasus ini *source* merupakan beberapa *plant* yang berada di wilayah Jawa Timur.

Tabel 5 Data *Transportation Cost*

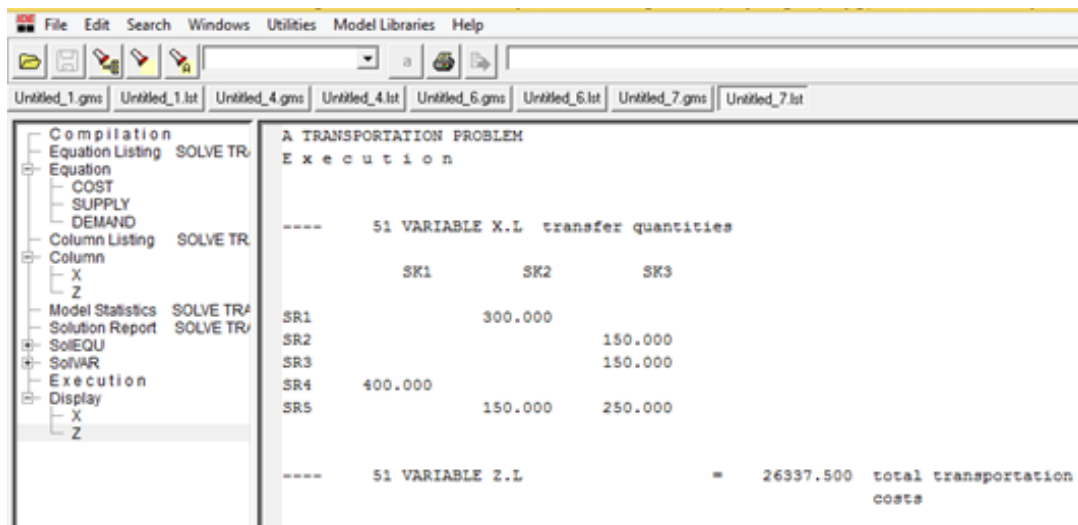
	<i>Sink 1</i> (Million USD)	<i>Sink 2</i> (Million USD)	<i>Sink 3</i> (Million USD)	<i>Supply</i> (Mt)
<i>Source 1</i>	0,395	0,35	0,28	300
<i>Source 2</i>	0,34	0,195	0,025	150
<i>Source 3</i>	0,325	0,185	0,03	150
<i>Source 4</i>	0,28	0,62	0,365	400
<i>Source 5</i>	0,35	0,1875	0,04	400
<i>Demand (Mt)</i>	900	750	550	



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



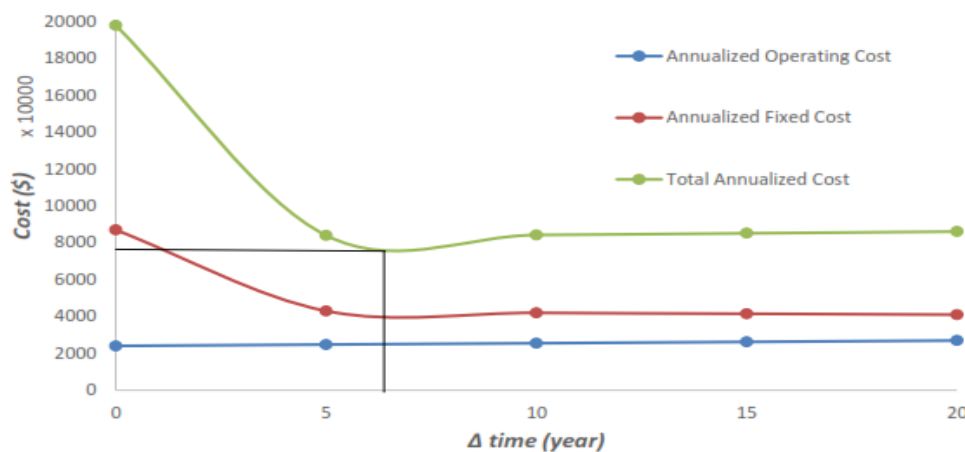
Gambar 10. Output Solution Sistem Transportasi Jaringan CCS dari Software GAMS

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa pada *sink 1* tersisa 500 Mt, pada *sink 2* tersisa 300 Mt sedangkan pada *sink 3* tidak terdapat *sink* yang tersisa. Pada kasus ini tidak terdapat *Uncaptureable CO₂*, karena kasus yang digunakan pada Software GAMS merupakan kasus *multi-region* dimana hal ini bertujuan untuk meminimalisasi jumlah *Uncaptureable CO₂*. Hal tersebut sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa *Uncaptureable CO₂* dapat diminimalisasi dengan cara *multi-region*. *Multi-region* merupakan strategi yang terbaik karena dapat menentukan transportasi antar *CO₂* yang diinginkan. *Multi-region* memungkinkan untuk menggunakan beberapa perpipaan dengan *flowrate* yang lebih besar dan untuk mentransfer ke

beberapa lokasi yang berbeda pada waktu yang sama[6].

3.4 Optimasi Berdasarkan Total Annualized Cost

Dalam proses jaringan *carbon capture and storage* ini, *total annual cost* terdiri dari *annual operating cost* dan *annual fixed cost*. Segala pembiayaan yang masuk dalam *annual fixed cost* terhitung termasuk biaya depresiasi teknologi yang digunakan, biaya instalasi perpipaan dan biaya jasa penangkapan *CO₂* dari *source*[7]. Sedangkan untuk *annual operating cost* didasarkan dari biaya sanksi yang dikeluarkan karena *CO₂* yang tidak dapat ditangkap oleh *sink* dan *CO₂* tersebut membutuhkan *storage* alternatif.



Gambar 11. Grafik Nilai TAC Pada Sistem CCS



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 8. Hasil Perhitungan TAC dari Sistem CCS

Δy (year)	Operating Cost (\$)	Fixed Cost (\$)	Avoided in Capture (\$)	Annualized Fixed Cost (\$)	Total Annualized Cost (\$)
0	23984400	87000000	0	87000000	197984400
5	24726900	43000000	851895	15467855,93	84046650,93
10	25469400	42000000	1703790	15108138,35	84281328,35
15	26211900	41500000	2555685	14928279,56	85195864,56
20	26954400	41000000	3407580	14748420,77	86110400,77

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa *total annualized cost* optimum adalah sebesar 75.000.000 USD ketika nilai delta waktu pada tahun ke 6,5. Hal tersebut merupakan didaerah optimum yaitu dengan delta waktu antara 5-10 tahun. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa *total annualized cost* optimum menunjukkan bahwa tahun ke 6,5 merupakan delta waktu yang optimal untuk melakukan sistem operasi *carbon capture and storage*[8].

4. SIMPULAN DAN SARAN

Metode pinch ini dalam sistem *carbon capture and storage* dengan analisa *cascade* kemudian dapat diterapkan untuk memberikn lebih tepat perhitungan aljabar yang setara dengan diagram pinch. Rincian dari metode tersebut dapat mengidentifikasi pilihan yang mungkin sebagai peta jalan yang akan diadopsi dalam perencanaan awal dan penilain kelayakan dalam membangun jaringan *carbon capture and storage system*.

Optimisasi jaringan *carbon capture and storage* ini dikembangkan berdasarkan sistem multi region yang dapat dilakukan dengan perhitungan matematis program linier. Tanpa memperhitungkan periode waktu mulai dan akhir untuk mengirim CO₂ dari *source* menuju *sink*, hal ini menyebabkan CO₂ dari *source* akan tertangkap atau ditampung semua oleh *sink* yang tersedia apabila kapasitas *storage* lebih besar dari CO₂ dari *source*. Dengan kata lain, penggunaan metode linier ini cenderung tidak valid karena tidak memperhitungkan ketersediaan waktu dalam sistem *carbon capture and storage*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Salah satu penulis, Saudara Aditya Anugerah Putra mendapatkan beasiswa PMDSU dengan nomor kontrak 04255/IT2.11/PN.02/2014 dari DP2M-DIKTI.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. EEA. (2011). *Air Pollution Impact from Carbon Capture Storage*. The European environment — state and outlook 2011 report, European Environment Agency.
- [2]Linnhoff B. and Hindmarch E. (1983). *Pinch Design Method of Heat Exchanger Network*, Chemical Engineering Science 38.
- [3]Ooi, R. E.H., Foo, D. C. Y., Tan, R. R. (2013). *Planning of Carbon Capture and Storage with Pinch Analysis Techniques*. Philippines.
- [4]Seider, W. D., Seader, J. D., Lewin, D. R. (2002). *Product and Process Design Principles*. Wiley. America.
- [5]Diamante, J. A. R., Tan, R. R., Aviso, K. B., Bandyopadhyay, S., Ng, D. K. S., Foo, D. Y. (2013). *Unified Graphical Pinch Approach for Targeting of Carbon Capture and Sequestration (CCS) Systems over Multiple Time Periods*. Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA) 25 - 27 June 2013.
- [6]Diamante, J. A. R., Tan, R. R., Aviso, K. B., Bandyopadhyay, S., Ng, D. K. S., Foo, D. Y. (2012). *A Graphical Approach for Pinch-Based Source-Sink Matching and Sensitivity Analysis in Carbon Capture and*

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

Storage (CCS) Systems. Industrial and Engineering Chemistry.

[7]Hedde, Gemma., Herzog, Howard., Klett, Michael. (2003). *The Economics of CO₂ Storage*. MIT LFEE. Cambridge.

[8]El-Halwagi, M.M. (2006). *Process Integration*. USA, San Diego: Elsevier Inc.



ISOLASI SENYAWA AKTIF DETERGEN DARI *SAPINDUS RARAK* (BUAH LERAK) DENGAN METODE EKSTRAKSI

Yeyen Maryani^{1*}, Ika wirahayu, Deri Cahyadi

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirayasa-Banten Indonesia

*Email: y3y3nmaryani@yahoo.co.id

Abstrak

Zat aktif pada detergen selama ini disintesis dari senyawa kimia. Pada penelitian ini dicoba diisolasi dari bahan alam *Sapindus rarak* (Buah Lerak), sebagai alternative. Metode penelitian terdiri dari 2 tahap, pertama tahap Ekstraksi dengan menggunakan pelarut metanol, etanol dan n-hexane selama 2, 3 dan 4 jam. Tahap kedua adalah proses Destilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh dengan mengekstraksi menggunakan pelarut methanol selama 4 jam dan perbandingan massa lerak dengan pelarut adalah 1 : 16. Analisis kualitatif dilakukan dengan uji pengangkatan noda dan analisis kuantitatif dilakukan dengan metode Kromatografi Lapis Tipis (KLT).

Kata kunci : Detergen, Ekstraksi, *Sapindus rarak*

1. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi membawa kemajuan yang dapat berdampak positif dan negatif bagi manusia. Munculnya produk-produk modern yang bersifat *instant* tidak terlepas dengan manfaat dan efek samping dari produk tersebut. Untuk meminimalisasi dampak negative penggunaan bahan kimia yang dapat merusak lingkungan, diperlukan *alternative* penggunaan bahan alam yang bersifat dapat diperbaharui.

Buah Lerak (*Sapindus rarak*) atau dikenal sebagai wrek (Jawa) dan rerek (Sunda), adalah buah dari tanaman Lerak yang secara tradisional telah lama digunakan masyarakat untuk mencuci. Lerak mempunyai sifat yang sama dengan sabun, yaitu dapat membersihkan kotoran yang menempel pada pakaian. Setelah di teliti buah lerak ini memiliki senyawa aktif saponin 12 %, alkaloid 1 %, 0,036% steroid, dan 0.029% triterpen. (Nevi Yanti, 2009). Saponin adalah sejenis glikosid yang mempunyai ciri-ciri berbuih apabila larutan dikocok.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah oven, blender/penumbuk, ekstraktor, pemanas, thermometer, stopwatch, neraca analitik, kondensor, labu didih, gelas ukur, tabung reaksi. lampu UV 254 dan 364 nm.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah lerak, methanol, ethanol, n hexane. Lempeng alumunium silika gel GF254 Merck, Ethyl Acetate, reagen H₂SO₄ 10% dalam methanol.

2.3 Prosedur

Lerak dibersihkan dan dikeluarkan bijinya, kemudian dipotong-potong. Kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105 C selama 30 menit. Lerak kemudian diblender lalu dimasukkan pada selongsong atau soklet sebanyak 25 gram. Lalu memasukkan pelarut kedalam labu leher tiga. Proses ekstraksi dilakukan selama 2jam, 3jam dan 4jam. Untuk memisahkan saponin dari pelarut maka dilakukan proses pemisahan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dengan metode destilasi sederhana. Hasil dari distilasi maka saponin di pekatkan dengan cara dipanaskan

2.4 Analisa Kualitatif

2.4.1 Uji Pembusaan

2 ml Sample buah lerak hasil dari ekstraksi dimasukkan dalam tabung reaksi. Lalu tambahkan 10ml air yang berperan sebagai pelarut kemudian dikocok dan menghasilkan busa. Kemudian menghitung tinggi busa yang dihasilkan.. Setelah simplisia dikocok dalam aquades, amati tinggi busa yang terbentuk dan menghitung lama bertahannya busa.

2.4.2. Uji pengangkatan Noda

Kain yang telah diberi noda direndam ke dalam sample sisa uji pembusaan yang telah ditambahkan air hingga 100ml, setelah 3 menit kain di kucek dan di bilas.

2.5. Analisa Kuantitatif secara Kromatografi Lapis Tipis

Potong Lempeng alumunium silika gel GF254 Merck sesuai ukuran. Buat garis dasar (*base line*) di bagian bawah, sekitar 0,5 cm dari ujung bawah plat, dan garis akhir di bagian atas. Ekstrak lerak kental yang telah dilarutkan dengan metanol ditotolkan pada Lempeng alumunium silika gel GF254 Merck sesuai ukuran. Menyiapkan 3 eluen kedalam 3 *chamber* yang berbeda dimana *chamber* pertama berisicampuran Hexane : Ethyl Acetate 95 : 5, *chamber* II berisi Ethyl Acetate, dan *chamber* ketiga berisi metanol. Tempatkan plat pada *chamber* berisi eluen. Tunggu eluen mengelusi sampel sampai mencapai garis akhir. Setelah mencapai garis akhir, angkat plat dengan pinset. Jika spot tidak terlihat, mengamati pada lampu UV 256 dan 364 nm. Jika masih tak terlihat, semprot dengan reagen. Selanjutnya lempeng juga disemprotkan dengan reagen H₂SO₄ 10% dalam methanol dan dipanaskan untuk mengetahui warna noda yang terbentuk. Untuk memperjelas warna yang terbentuk lempeng yang telah dipanaskan diamati

dengan menggunakan lampu UV 254 dan 364 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Pelarut Pada Proses Ekstraksi

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa ekstraksi saponin dari buah lerak dengan menggunakan metanol lebih baik dibandingkan dengan pelarut etanol dan n hexane. Hal ini dapat dilihat dari yield yang dihasilkan yaitu ethanol sebesar 27,962 %, methanol 44,0509 % sedangkan dengan menggunakan n hexane tidak terekstraksi (0%).

Buah lerak dalam bentuk hasil ekstraksi dengan metanol mengandung saponin dengan kadar lebih tinggi. Tingginya kandungan saponin yang diekstrak dengan metanol terkait dengan sifat metanol yang biopolar yang menjadikan saponin terekstrak sempurna. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Suharti *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa keseluruhan buah lerak yang diekstrak dengan metanol mengandung saponin yang cukup tinggi jika dibandingkan diekstrak dengan air hanya menghasilkan yield 8,20% saponin. Namun setelah dilakukan ekstraksi dengan menggunakan metode sokletasi dengan menggunakan pelarut methanol diperoleh hasil yang lebih besar yaitu sebesar 44.0509%.

Dari hasil penelitian metanol lebih banyak menyerap zat aktif dikarenakan metanol lebih polar jika dibandingkan pelarut etanol. Karena memiliki jumlah atom C yang berbeda, sehingga senyawa yang terikat oleh kedua pelarut tersebut berbeda. Sedangkan dengan pelarut n-hexane tidak diperoleh hasil atau glikosida saponin tidak dapat terekstrak dikarenakan gugus gula pada glikosida hanya dapat larut dalam air dan pelarut polar namun tidak dapat larut dalam eter, kloroform maupun pelarut non-polar lainnya.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

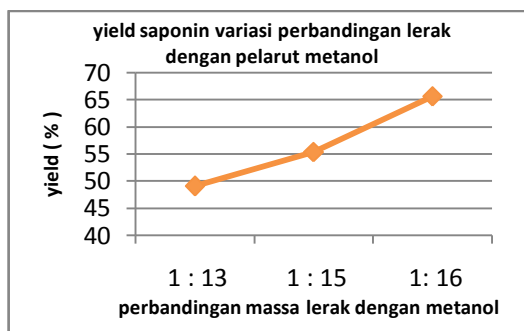
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3.2 Pengaruh Waktu pada proses Ekstraksi

Dengan membandingkan densitas, yield dan massa lerak yang tersisa yang diperoleh seperti yang terlihat pada tabel 4, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan rasio volume pelarut dengan massa yang sama, waktu ekstraksi 4 jam menghasilkan ekstrak yang lebih banyak. Karena semakin lama waktu ekstraksi semakin lama pula waktu kontak antara pelarut dengan lerak sehingga semakin banyak zat aktif yang terserap atau terekstrak oleh pelarut.

3.3 Pengaruh Perbandingan Massa Lerak dengan Pelarut

Jumlah pelarut juga mempengaruhi hasil ekstraksi sehingga pada penelitian ini digunakan variasi perbandingan pelarut dengan massa lerak yaitu 1 : 13, 1 : 15 dan 1 : 16. Dari hasil penelitian diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 1. Grafik yield variasi perbandingan pelarut metanol

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar volume pelarut yang digunakan maka hasil ekstraksi akan semakin baik sehingga yield yang dihasilkan lebih banyak. Semakin besar rasio umpan terhadap pelarut, jumlah pelarut yang kontak dengan bahan ekstraksi semakin banyak. Jumlah molekul pelarut yang meningkat akan meningkatkan kemungkinan tumbukan antara zat terlarut dengan pelarut, sehingga zat terlarut dapat berdifusi keluar bahan ekstraksi lebih banyak sehingga meningkatkan *yield* saponin.

3.4 Hasil Uji Pembusaan

Dari hasil analisa bahwa semua sample menimbulkan busa saat dikocok dan busa mampu bertahan hingga 30 menit. Selain sample pada hasil ekstraksi, uji pembusaan ini juga dilakukan untuk sample detergen dan penggunaan lerak cara dipotong dan langsung dicampurkan atau dikocok dengan air (cara tradisional) untuk perbandingan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan ekstraksi maka kandungan saponin yang terdapat dalam lerak lebih banyak yang dimanfaatkan jika dibandingkan dengan pemanfaatan lerak dengan cara dipotong dan langsung dicampurkan atau dikocok dengan air (cara tradisional). Kemampuan saponin membentuk busa disebabkan oleh glikosida yang bersifat hidrofilik dan turunan triterpen yang bersifat lipofilik. Hidrolisis ikatan glikosida (antara rantai gula dan aglikon).

3.5 Hasil Uji Pengangkatan Noda

Saponin merupakan deterjen alami yang memiliki bahan surfaktan karena mengandung inti lemak dan air yang mudah larut. Uji pengangkatan noda ini dilakukan untuk membuktikan bahwa ekstrak lerak yang diekstrak dengan metode sokhletasi dapat dimanfaatkan sebagai deterjen alami yang lebih ramah lingkungan. Dari hasil uji diperoleh hasil bahwa ekstrak lerak dapat digunakan sebagai deterjen alami yang dapat mengangkat noda. Hasil yang diperoleh pun tidak kalah bersih jika dibandingkan dengan menggunakan deterjen cair yang muncul dipasaran saat ini.

3.6. Hasil Analisa KLT (Kromatografi Lapis Tipis)

Dari hasil yang didapatkan, saat lempeng diamati dengan menggunakan Sinar UV dengan panjang gelombang 366 nm untuk menampakkan bercak yang berfluoresensi sehingga pengamatan terlihat bercak memancarkan cahaya (warna). Dari gambar dibawah ini dapat terlihat dengan jelas bahwa sample yang terelusi dengan menggunakan methanol terdapat spot. Selanjutnya dilakukan penyemprotan bercak



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

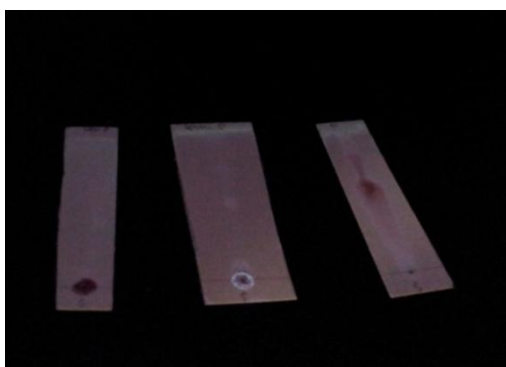
menggunakan asam sulfat pekat, lalu dipanaskan dengan tujuan untuk mengoksidasi zat organik terlarut. Pada hasil analisa terlihat warna hitam kecoklatan hal ini menunjukkan adanya senyawa organik pada sample. Asam sulfat bersifat mem bakar, dan dapat memutuskan ikatan rangkap sehingga yang terlihat adalah carbonnya.

Dengan menggunakan sinar UV, spot yang terbentuk terlihat semakin jelas. Pada lempeng eluen non polar terbentuk 3 spot, sedangkan lempeng dengan eluen semipolar menghasilkan 3-4 spot berwarna coklat ungu. Dan lempeng dengan eluen polar terbentuk banyak spot hingga titik batas. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak lerak ini memiliki sifat seperti detergen / surfaktan yaitu bersifat polar dan non polar.

Saponin triterpenoid indikasi positif ditandai dengan perubahan warna menjadi merah, ungu atau coklat. Warna yang diserap oleh triterpenoid adalah warna hijau dengan panjang gelombang 491-570 nm. Gugus -OH pada triterpenoid akan mengalami pergeseran panjang gelombang yang diserap sehingga warna yang ditimbulkan berbeda. Jadi warna merah, ungu atau coklat merupakan warna komplementer.

Dari hasil analisa KLT, ekstrak lerak dengan pelarut metanol pada lempeng dengan eluen methanol terbentuk bercak noda coklat keunguan (violet). Reaksi pembentukan warna ini dapat terjadi karena adanya gugus kromofor (gugus tak jenuh) yang disebabkan oleh absorpsi panjang gelombang tertentu oleh senyawa organik. Senyawa organik dengan konjugasi yang ekstensif menyerap panjang gelombang tertentu karena adanya transisi elektron π ke π^* dan n ke π^* sehingga warna yang diserap bukan warna yang tampak melainkan warna komplementernya.

Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya dari Jaya, 2010 berjudul "Isolasi dan identifikasi senyawa saponin dari ekstrak metanol Batang pisang ambon (*Musa paradisiaca* var. *Sapientum* L.)" jika pada larutan menghasilkan cincin warna coklat atau violet menunjukkan adanya saponin triterpen sedangkan jika menghasilkan cincin warna hijau atau biru menunjukkan adanya saponin steroid. Dengan adanya bercak coklat ungu maka sample atau ekstrak lerak ini maka dapat disimpulkan bahwa didalam ekstrak lerak ini terdapat senyawa saponin triterpen.



Gambar 2. Lempeng setelah pemanasan dengan sinar UV 364 nm

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa buah lerak dapat ekstraksi secara sokletasi dengan

menggunakan pelarut methanol selama 4 jam dan perbandingan massa lerak dengan pelarut 1 : 16 . Ekstrak buah lerak mengandung senyawa saponin triterpenoid yang dapat



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

digunakan sebagai alternatif bahan baku deterjen.

REFERENSI

- Alimuddin, Andi Hairil Masriani. 2007. *Antimicrobial Activities Of Shorea Foxworthyi Sym Steam Bark Methanol Extract*. Department of Chemistry, FMIPA, University of Tanjungpura, Jl. Jenderal Ahmad Yani Pontianak 2 Department of Mathematics and Natural Sciences Education, FKIP, University of Tanjungpura
- Caballero, Benjamin, Luiz C. Trugo, Paul M. Finglas, 2003, "Encyclopedia of Kingdom.
- Devi. Indri Sri Br. Sembiring¹, Isnindar, Iswahyudi. *Antioxidant Activity Of Ethanol Fraction From Bawang Mekah Leaves (Eleutherine Americana Merr.) Using Dpph (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) Method*. Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Fathonah D, sugiyarto. 2009. *Biomassa, kandungan klorofil dan nitrogen daun dua varietas cabai (Capsicum annum) pada Berbagai Perlakuan Pemupukan*. Surakarta : Universitas Sebelas.Maret
- Harborne. 1987. *Metode Fitokimia :Penuntun cara modern menganalisis tumbuhan*. Edisi II. Terjemahan Kosasih Padmawinata dan Iwang Soediro. Penerbit ITB,Bandung
- Heyne, K. 1987 . *Tumbuhan Berguna Indonesia.Jilid III* . Badan Litbang Kehutanan Departemen Kehutanan. Jakarta
- Jaya, Ara Miko. 2010. *Isolasi dan Uji Efektivitas Antibakteri Senyawa Saponin dari akar Putri Malu (Mimosa pudica)* [skripsi]. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim, Malang
- Tsuzuki¹, Joyce K.. Terezinha I.E. Svidzinski², Cristiane S. Shinobu Luiz F.A. Silva³, Edson Rodrigues-Filho³, Diógenes A.G. Cortez And Izabel C.P. Ferreira. *Antifungal Activity Of The Extracts And Saponins From Sapindus Saponaria L.* Departamento De Farmácia E Farmacologia, Universidade Estadual De Maringá, Av. Colombo, Maringá, Pr, Brasil
- Kamal, Nyanyu Nurmilah, 1976, "Saponin dari Sapindus rarak DC", Pemeriksaan Pendahuluan, Bandung.
- Kjellin, mikael. 2010. *Surfactants from Renewable Resources*. Sweden : Willey
- Kurniawati, Arisma. 2009. *Evaluasi Suplementasi Ekstraksi Lerak (Sapindus rarak) terhadap populasi protozoa, bakteri dan karakteristik fermentasi rumen sapi peranakan ongole secara in vitro*. Bogor : Departemen Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor
- Mukti, Kusnanto. *Analisis spektroskopi UV-Vis penentuan konsentrasi permanganate (KMnO₄)*. Surakarta: jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Robinson, T. 1995. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Penerjemah: Padmawinata, K. Bandung: Penerbit ITB.
- Siregar, Irwansyah. 1995. *Pemanfaatan Buah Lerak Sebagai Bahan Kolektor Pengawarintan (Deinking) Kertas Perkantoran Bekas Dengan Cara Flotasi*. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian :Bogor
- Suharto M, Edy, Dumanauw. *Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Saponin Dari Ekstrak Metanol Batang Pisang Ambon (Musa Paradisiaca Var. Sapientum L.)*. Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT Manado
- Suharti, S dkk, 2009. *Kecernaan Nutrien dan Performa produksi sapi potong peranakan ongole (PO) yang diberi tepung lerak (sapindus rarak) dalam ransum..* Bogor : Departemen Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor
- Sunaryadi. 1999. *Ekstraksi dan isolasi buah lerak (Sapindus rarak) serta pengujian daya defaunasinya*. Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Wina, E., S. Muetzel, E. Hoffmann, H. P. S. Makkar & K. Becker. 2005. *Saponins containing methanol extract of Sapindus rarak affect microbial fermentation, microbial activity and microbial community structure in vitro*. J. Anim. Feed Sci. Tech. 121: 159-174.
- Wina, E., S. Muetzel & K. Becker. 2006. *Effect of daily and interval feeding of Sapindus rarak on protozoa, rumen fermentation parameters and digestibility in sheep*. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19:1580-1587.
- Wagner, Hildebert, Sabine Bladt, 1996. *Plant Drug Analysis : A Thin Layer chromatography Atlas 2nd edition*, Springer, Germany



STUDI OPTIMASI PENAMBAHAN AIR DAN TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP KEKERASAN DAN *PERMANENT LINIER CHANGE* PADA REFRAKTORI *LOW CEMENT CASTABLE ALUMINA***Abdul Aziz^{1*}, Muhammad Fitrullah, Anky Fadharani**¹*Department of Metallurgy, Sultan Ageng Tirtayasa University**Email : amang_azis@yahoo.com

Abstrak

Refraktori *castable* merupakan refraktori monolitik yang dapat diinstal secara dicor (*casting/pouring*), ditembakkan (*gunning*) maupun *trowelling*. Pada penggunaannya refraktori *castable* dicampurkan dengan air sehingga agregat-agregat dapat bercampur dengan bahan *additive* yang lain. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penambahan air yang optimum untuk mendapatkan nilai kuat tekan dingin atau *cold crushing strength* yang maksimal setelah dipanaskan pada temperatur tertentu dan untuk mengetahui besarnya penyusutan yang terjadi pada saat ditambahkan air yang berbeda. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan material refraktori *low cement castable* dengan kadar alumina 81%. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan air dan temperatur pemanasan. Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan air sebesar 7%, 7,5%, 8%, 8,5%, dan 9% dan temperatur pemanasan pada 1000°C, 1050°C, dan 1100°C. Setelah sampel dicetak pada *cube mold* kemudian dilakukan pengukuran besarnya dimensi sampel sebelum dan sesudah dipanaskan kemudian diuji dengan cara diberikan tekanan dengan *compact strength machine* sampai jarum pada penunjuk nilai tekannya menurun. Diperoleh data sampel uji yang memiliki nilai *Cold Crushing Strength* (CCS) paling besar yaitu pada sampel dengan menggunakan air sebesar 7% pada saat pencampuran. Nilai CCS yang tertinggi yaitu 114,94 N/mm².

Kata kunci : refraktori monolitik, *low cement castable*, *cold crushing strength***Abstract**

Refractories usually used in industries which on production process with high temperature. In modern, development of refractory materials is not only conventional type but now there is the other type of refractories for the example is castable refractory. Castable refractory is monolithic refractory can be install by casting, gunning, or trowelling. In installing process castable refractory before that mixing with water so the aggregates could mix with the other additives. This research purposes are determine the optimum water addition to get the highest cold crushing strength after heated on the different temperatures. This research in laboratory using material low cement castable refractories with 81% alumina. In this research there is variety water addition and temperatures heating. Variable process in this research are water addition 7%, 8%, 8,5%, 9%, and 9%, while temperatures heating on 1000°C, 1050°C, and 1100°C. After casting on cube mold, the sample measure size sample before and after heating process after that testing with giving pressure with compact strength machine until get maximum compact strength value. Based on result this research, sample with the highest cold crushing strength value is using water addition 7% in mixing process and cold crushing strength value is 114,94N/mm².

Keyword : monolithic refractories, *low cement castable*, *cold crushing strength*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. Pendahuluan

Bata tahan api atau biasa disebut dengan refraktori merupakan salah satu jenis keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada kondisi temperatur yang relatif tinggi tanpa mengalami deformasi [6].

Material refraktori digunakan untuk bangunan struktur atau melapisi struktur yang terkena dan dioperasikan pada temperatur tinggi mulai dari perapian kecil seperti tungku pembakar skala laboratorium hingga tungku skala industry seperti pada tungku busur listrik (*Electric Arc Furnace*) ataupun pada tungku hembus (*blast furnace*) [7].

Salah satu penggunaan material refraktori digunakan pada *lining* pada tungku peleburan baja. Pada bagian tungku oval (*spherical hearth*) tungku busur listrik terdapat 3 lapisan yaitu lapisan *lining* kemudian lapisan batu tahan api dan sebagai kontruksi bagian luar digunakan pelat baja dengan ketebalan tertentu. Pada dinding pelindung tanur terdapat batu tahan api sebagai isolator panas bagian dalam yang dihasilkan tanur tersebut [5].

Penelitian ini akan mendapatkan hasil penambahan air yang optimal untuk mendapatkan hasil *cold crushing strength* yang maksimal pada aplikasi saat pemasangan *lining* refraktori yang berbahan *low cement castable alumina* tinggi dengan kadar alumina sebesar 81%.

2. Dasar Teori

Refraktori memiliki definisi yaitu material non logam yang memiliki sifat kimia dan fisika yang biasa diaplikasikan untuk dibentuk atau sebagai komponen dalam sistem pada suhu tinggi diatas 1000 °F (811 K; 538 °C). [1]. Bahan refraktori adalah suatu bahan yang tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi. Mempunyai kekerasan dan kekuatan yang tinggi, kestabilan mekanis dan tahan terhadap korosi, adalah sifat-sifat yang sangat diperlukan pada industri-industri manufaktur besi, baja, semen, gelas dan lain-

lain. Bahan-bahan refraktori dibuat dengan kombinasi dan bentuk yang bervariasi tergantung pada penggunaannya. [8]. Bahan apapun akan mengembang jika dipanaskan, akan menyusut jika didinginkan. Pengembangan/ekspansi panas yang dapat balik merupakan cerminan perubahan fase yang terjadi selama pemanasan dan pendinginan. [10]

Refraktori *castable* adalah jenis refraktori monolitik yang pemakaiannya makin meluas dan fleksibel. Refraktori monolitik adalah sebuah cetakan tunggal. Refraktori *castable* tersusun dari bahan refraktori berupa agregat atau samot yang ukuran butir dan distribusi butirannya bervariasi dan bahan perekat berupa semen kalsium alumina dengan atau tanpa ditambah aditif.

Dalam campurannya dengan air, semen alumina dan *castable* akan mengikat partikel-partikel agregat secara bersama dalam ikatan hidrolis yang mengeras pada suhu ruang membentuk beton refraktori. Rasio penambahan air, dimana pada saat *castable* dicampur dengan air kemudian diaduk untuk pemasangan dengan cara cor atau *pouring*, untuk produk *castable* konvensional, jumlah penambahan air adalah 3 - 10%. Tetapi pada kenyataan dilapangan, sedikitnya 2 kali lebih banyak untuk mendapatkan fluiditas (tingkat keenceran) yang cukup. Penambahan air yang berlebih mengakibatkan partikel halus, seperti *alumina-cement* akan terbawa kepermukaan campuran *castable* tersebut. Setelah pencampuran material dengan air Untuk mengetahui penambahan air sudah optimal atau belum dapat digunakan metoda *ball in hand* [4]

3. Metode Penelitian

Sampel refraktori *low cement castable* dengan kadar alumina sebesar 81% ditimbang sebanyak 1200gr (untuk 3 sampel uji berbentuk kubus), kemudian dimasukkan ke dalam wadah *mixer*. Kemudian ditimbang air sebesar 7%; 7,5%; 8%; 8,5%; 9% dari 1200gr sampel *low cement castable* dan



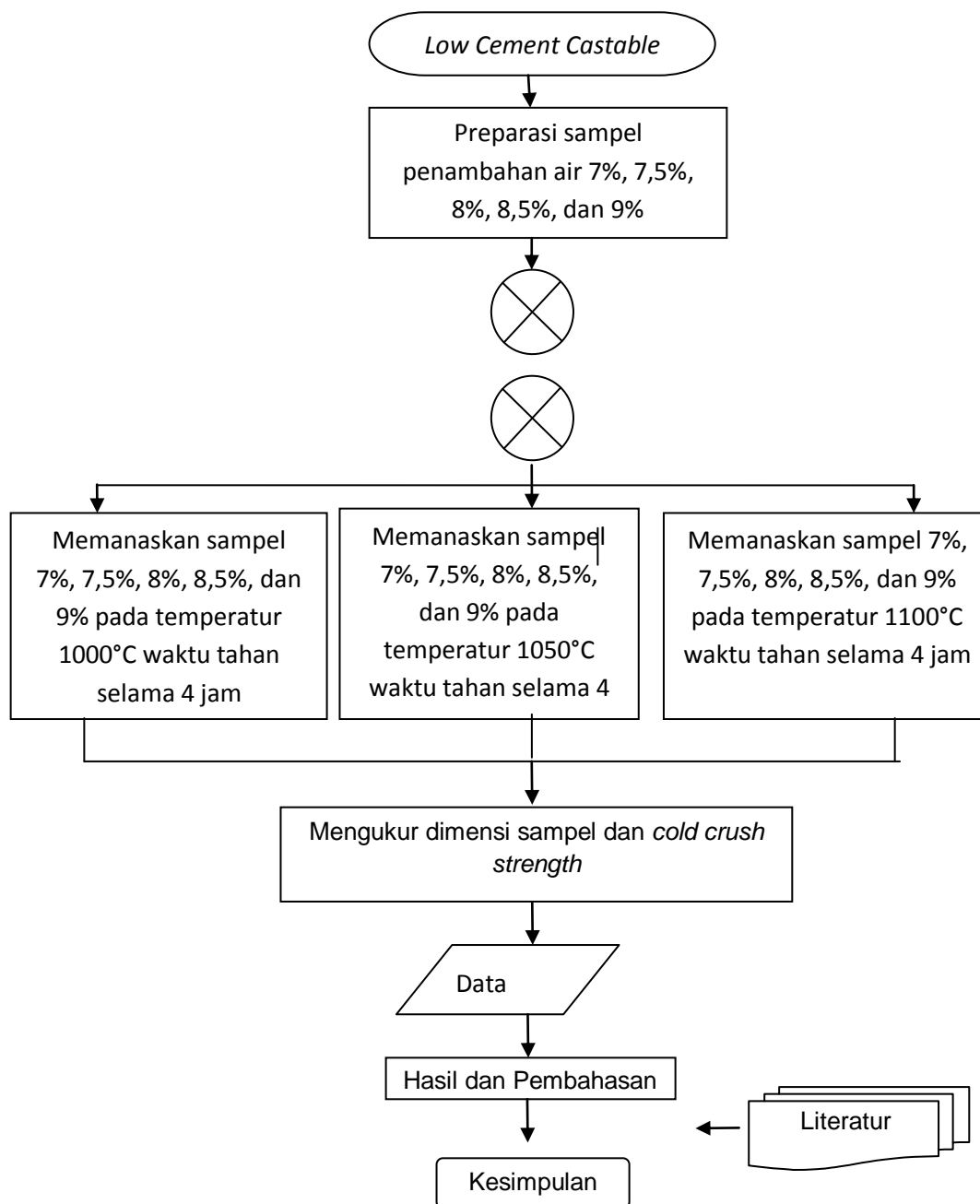
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dicampurkan dengan menggunakan *mixer* selama ± 5 menit sehingga terlihat telah tercampur dengan homogen. Setelah tercampur homogen dimasukkan kedalam *cube mold* diatas *vibrating table*, lalu dibiarkan sampel mengeras ± 2 jam. Apabila sampel uji telah mengeras/ *setting* dibuka *cube mold* diukur dimensi ukuran dan ditimbang berat setiap sampel. Setelah diukur kemudian dikeringkan pada oven dengan

temperatur 105°C selama 8 jam. Setelah 8 jam dikeringkan kemudian ditimbang kembali tiap sampel kemudian dipanaskan di dalam *furnace* pada temperatur 1000°C , 1050°C , dan 1100°C selama 8 jam. Setelah dipanaskan sampel uji diukur dimensi dan berat dari tiap sampel kemudian dilakukan pengujian *cold crushing strength* dengan menggunakan *compact strength machine* [2].



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil yang dapat di lihat sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil data penelitian

Temperatur Pemanasan	Penambahan Air (%)	No. sampel	Densitas (kg/m ³)	CCS (N/mm ²)	PLC (%)	
					110°C	Setelah pemanasan
1000°C	7%	1	2515.7604	113.90	-0.56	-0.94
		2	2516.3553	116.13	-0.10	-0.43
		3	2497.3798	114.79	-0.16	-0.13
		Rata-rata	2509,8318	114.94	-0.27	-0.5
1000°C	7.5%	1	2527.3618	106.81	0.00	-0.26
		2	2533.8160	107.72	-0.03	-0.30
		3	2527.6026	111.07	0.00	-0.36
		Rata-rata	2529.5935	108.53	-0.01	-0.31
1000°C	8%	1	2510.9304	101.70	0.00	-0.33
		2	2517.0489	111.32	-0.07	-0.20
		3	2521.1198	105.24	-0.10	-0.37
		Rata-rata	2516.3663	106.09	-0.06	-0.30
1000°C	8.5%	1	2495.3734	92.62	0.00	-0.23
		2	2464.3859	92.16	-0.03	-0.34
		3	2500.2646	95.55	-0.13	-0.27
		Rata-rata	2486.6746	93.44	-0.06	-0.28
1000°C	9%	1	2433.6831	82.75	0.00	-0.10
		2	2386.9556	77.01	-0.10	-0.45
		3	2462.9968	69.56	0.00	-0.19
		Rata-rata	2427.8785	76.44	-0.03	-0,25
1050°C	7%	1	2433.4299	103.46	0.00	-0.19
		2	2467.6424	96.06	-0.06	-0.48
		3	2456.7107	105.36	0.00	-0.51
		Rata-rata	2452.5943	101.63	-0.02	-0.39
1050°C	7.5%	1	2438.2402	98.47	-0.13	-0.26
		2	2422.4216	92.20	-0.13	-0.20
		3	2431.2937	87.76	-0.14	-0.33
		Rata-rata	2430.6518	92.81	-0.13	-0.27
1050°C	8%	1	2436.5466	76.92	0.00	-0.20
		2	2426.7815	92.85	-0.03	-0.27
		3	2431.1176	86.75	0.00	-0.27
		Rata-rata	2431.4819	85.51	-0.01	-0.24



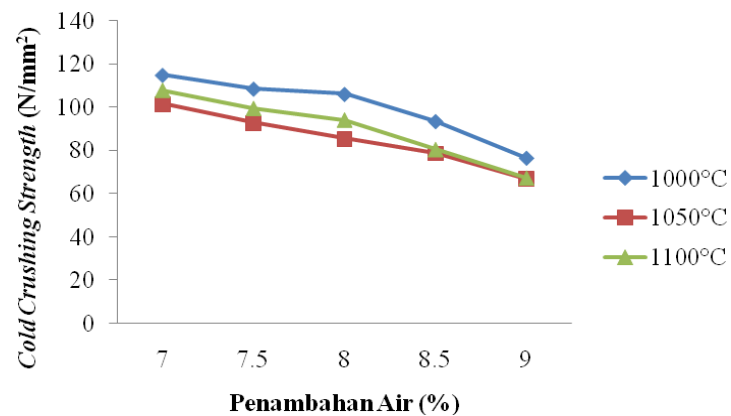
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

1050°C	8.5%	1	2434.0525	76.27	0.00	-0.32
		2	2475.4428	79.97	-0.07	-0.07
		3	2413.8064	79.67	0.00	-0.26
Rata-rata			2441.1006	78.64	-0.02	-0.22
1050°C	9%	1	2364.8577	69.50	0.00	-0.06
		2	2348.5140	68.10	0.00	-0.16
		3	2429.8099	63.06	0.00	-0.29
Rata-rata			2381.0605	66.88	0.00	-0.17
1100°C	7%	1	2516.2784	111.61	-0.03	-0.30
		2	2466.4820	104.11	-0.03	-0.26
		3	2429.7917	107.72	-0.16	-0.69
Rata-rata			2448.1369	107.81	-0.07	-0.42
1100°C	7.5%	1	2464.4531	102.50	-0.10	-0.42
		2	2434.6768	105.04	-0.07	-0.26
		3	2432.9777	90.84	-0.22	-0.25
Rata-rata			2444.0359	99.46	-0.13	-0.31
1100°C	8%	1	2439.9297	99.40	-0.06	-0.16
		2	2465.6798	87.33	-0.17	-0.19
		3	2422.5158	95.77	-0.32	-0.27
Rata-rata			2442.7085	94.17	-0.18	-0.21
1100°C	8.5%	1	2431.7157	81.18	-0.07	-0.29
		2	2434.1537	84.89	-0.19	-0.16
		3	2436.2034	75.63	0.00	-0.06
Rata-rata			2434.0243	80.57	-0.09	-0.17
1100°C	9%	1	2405.4712	63.73	0.00	-0.10
		2	2387.4322	67.99	0.00	-0.13
		3	2293.2090	70.59	-0.07	-0.03
Rata-rata			2362.0374	67.44	-0.02	-0.09



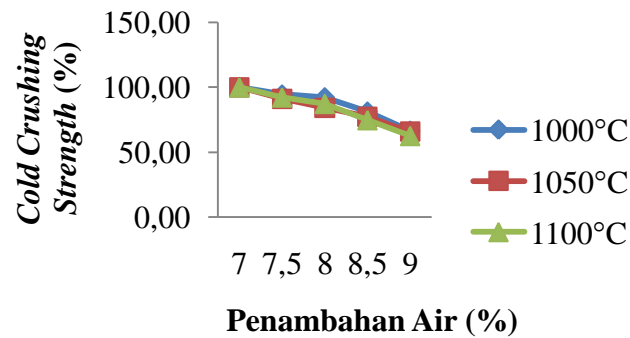
Gambar 2. Pengaruh penambahan air terhadap cold crushing strength



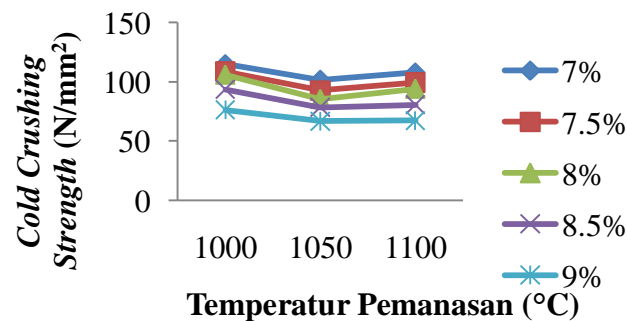
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

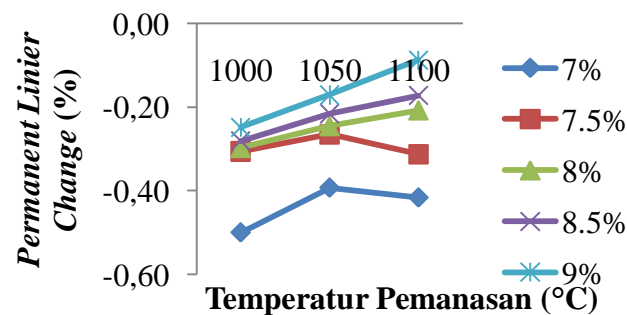
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 3. Pengaruh penambahan air terhadap persentase penurunan *cold crushing strength*



Gambar 4. Pengaruh temperatur pemanasan terhadap nilai *cold crushing strength*



Gambar 5. Pengaruh penambahan air dan temperatur pemanasan terhadap *permanent linier change*

4.2. Pembahasan

Refraktori *low cement castable* yang digunakan sebagai sampel termasuk material refraktori alumina tinggi dengan kandungan alumina sebesar 81%. Pada *low cement castable* ini penggunaan zat pengikat (*binder*) semakin berkurang sehingga pemakaian air akan semakin sedikit. Akan tetapi, untuk zat

tambahan (*additive*) ditambahkan lebih banyak [4].

Pencampuran dengan air dimaksudkan untuk mendapatkan sampel yang memiliki fluiditas yang cukup. Penambahan air yang banyak maka akan meningkatkan fluiditas *castable*, hal ini akan mengurangi kepadatan dari matriks karena ada pemisahan antara



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

agregat padat dan kasar. Apabila menambahkan air secara berlebih maka pada *castable* tidak akan tersebar secara merata, dan hal ini dapat menyebabkan mikrostruktur pada *castable* tersebut akan terdapat *porous* yang lebih banyak sehingga material refraktori sifat mekanisnya akan berkurang, akan lebih cepat aus, dan ketahanan terhadap korosi berkurang [3].

Penambahan air pada refraktori *low cement castable* merupakan salah satu indikasi kualitas dari bahan refraktori tersebut. Dengan penambahan air yang bervariasi maka akan menghasilkan nilai kuat tekan dingin atau *cold crushing strength* yang berbeda pula. Penambahan air yang digunakan sebesar 7%; 7,5%; 8%; 8,5%; dan 9%. Dengan penambahan air sebesar 0,5% pada sampel *low cement castable* dapat mempengaruhi besarnya nilai CCS. Nilai CCS akan cenderung semakin kecil dengan penambahan air yang lebih besar pada saat proses pencampuran. Pada Gambar 1. tersebut terlihat penurunan nilai *cold crushing strength* pada penambahan air yang lebih banyak.

Hal tersebut dikarenakan bahwa pada saat mencampurkan air dengan material refraktori *low cement castable* kemudian dicetak lalu dipanaskan pada temperatur 1000°C, 1050°C, dan 1100°C maka air yang terdapat pada sampel tersebut akan hilang menguap. Oleh karena itu, semakin besar penambahan air maka akan semakin banyak pori yang terbentuk didalam sampel, dan pori-pori tersebut dapat menyebabkan meningkatnya porositas dalam suatu material. Dengan terbentuknya porositas maka akan menurunkan kepadatan pada sampel. Pada saat diuji CCS sampel dengan porositas yang besar maka sampel tersebut akan tidak dapat menerima beban tekan yang besar sehingga didapatkan nilai CCS yang rendah. Oleh sebab itu adanya porositas dalam jumlah yang besar pada material refraktori sangatlah dihindari dikarenakan dapat menyebabkan *lining* pada suatu tungku akan mudah terjadi kerontokan/*spalling*. Material refraktori pada

tungku peleburan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap terjadi retak dan kerontokan pada saat digunakan temperatur yang sangat tinggi dan bebankejut termal [9].

Penambahan air yang optimal untuk mendapatkan nilai CCS yang paling besar pada material refraktori *low cement castable* alumina tinggi dengan kadar 81% alumina dan setelah sampel dipanaskan pada temperatur 1000°C, 1050°C, dan 1100°C yaitu sebesar 7%, dan penambahan air yang mendapatkan nilai CCS terendah yaitu sebesar 9%. Sampel dengan penambahan air sebesar 7% setelah dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C nilai CCS yang didapatkan sebesar 114,94 N/mm², setelah dipanaskan pada temperatur 1050°C sebesar 101,63 N/mm², dan pada temperatur pemanasan 1100°C sebesar 107,81 N/mm². Sedangkan, pada sampel dengan penambahan air paling banyak yaitu 9% mendapatkan nilai CCS yang didapatkan sebesar 76,44 N/mm² setelah dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C, setelah dipanaskan pada temperatur 1050°C sebesar 66,88 N/mm², dan setelah sampel dipanaskan pada temperatur 1100°C didapatkan nilai CCS sebesar 67,44 N/mm².

Berdasarkan dari uraian hasil data penelitian di atas dapat memperlihatkan pengaruh penambahan air terhadap penurunan nilai CCS yang didapatkan. Dengan selisih penambahan air sebesar 2% pada sampel yang dipanaskan dengan temperatur 1000°C penurunan nilai CCS sebesar 33,5%, pemanasan pada temperatur 1050°C mengalami penurunan nilai CCS sebesar 34,19%, dan pemanasan pada tempertur 1100°C penurunan nilai CCS sebesar 37,45%.

Pemanasan merupakan salah satu tahapan untuk menguji suatu bahan refraktori disamping proses pencampuran dan kompaksi. Pada hasil penelitian terlihat bahwa pemanasan pada temperatur 1050°C terjadi penurunan nilai CCS akan tetapi pada pemanasan pada 1100°C mengalami kenaikan nilai CCS kembali. Pada material refraktori



Seminar Nasional Intergrasi Proses

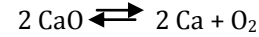
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

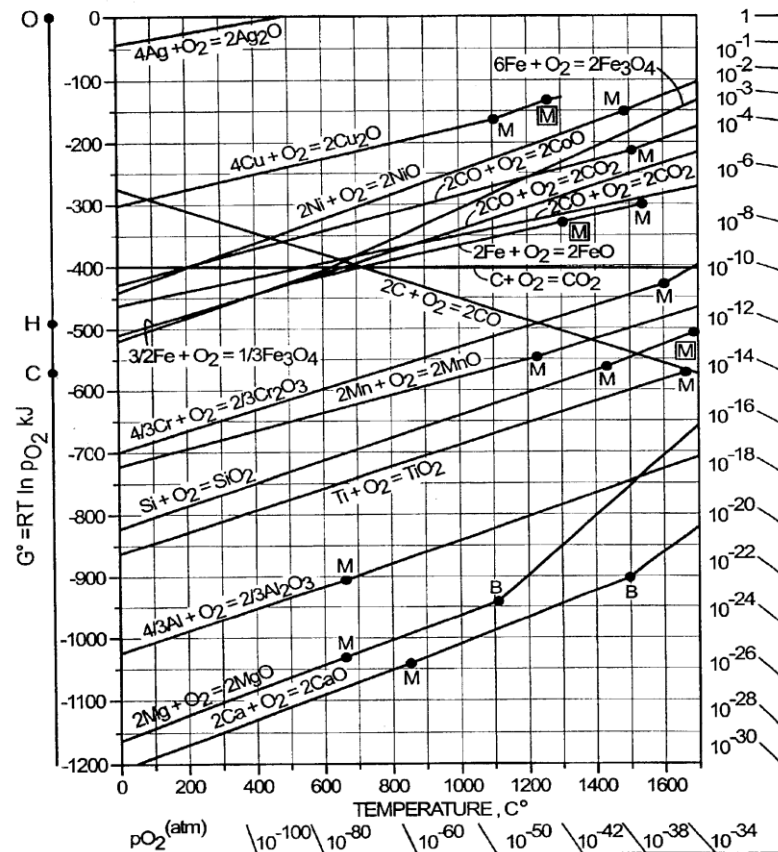
akan terbentuk tiga ikatan saat proses pencampuran dengan air sampai dipanaskan. Ketika air ditambahkan lalu dicampurkan akan mengikat partikel-partikel agregat secara bersama. Ikatan tersebut dinamakan ikatan hidrolitik. Pengertian ikatan hidrolitik yaitu ikatan yang terjadi antara air dengan semen dan agregat-agregat yang terdapat pada material refraktori. Semen yang terdapat pada sampel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan semen alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$). Dengan terbentuknya ikatan hidrolitik maka sampel akan mengeras pada temperatur ruang.

Pada saat proses pemanasan berlangsung ikatan hidrolitik ini akan terputus

dan akan membentuk ikatan kimia. Ikatan hidrolitik terputus dikarenakan titik leleh CaO yang terdapat dalam semen alumina yang digunakan yaitu CaO terletak pada temperatur $\pm 852^\circ\text{C}$. Dengan reaksi penguraian sebagai berikut:



Pada temperatur $\pm 852^\circ\text{C}$ semen CaO akan meleleh sehingga membentuk kapur (Ca). Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu berupa diagram Ellingham senyawa oksida. Pada diagram Ellingham terdapat symbol huruf M. Simbol ini menunjukkan bahwa besarnya titik leleh dari suatu logam.



Gambar 6. Diagram ellingham senyawa oksida

Refraktori *castable* memiliki kekuatan mekanis yang mengalami kenaikan saat dipanaskan hingga temperatur 1000°C . Akan tetapi, di atas temperatur 1000°C akan mengalami penurunan nilai CCS. Hal ini

terjadi dikarenakan pada temperatur tersebut ikatan hidrolitik sudah tidak ada didalam ikatan antar material refraktori sehingga kekuatan ikatan antar molekul akan semakin



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

berkurang. Oleh sebab itu, nilai CCS akan semakin kecil.

Atom pembentuk refraktori memiliki ikatan yang kuat, berupa ikatan ionik, kovalen ataupun campuran keduanya. Akibatnya material refraktori memiliki titik leleh yang tinggi. Bahan baku material refraktori pada saat keadaan bahan mentah mengandung komposisi kimia yang tidak sama apabila dibandingkan setelah dilakukan pemanasan, dikarenakan akan terjadi reaksi kimia pada kondisi temperatur tinggi [2]. Oleh karena itu, di atas temperatur titik leleh CaO akan terbentuk ikatan kimia yang terjadi antara zat tambahan/*additive* dengan agregat-agregat yang telah berikatan satu dengan yang lain. Ikatan kimia terjadi pada pemanasan di atas 1050°C, dengan terbentuk ikatan kimia akan meningkatkan nilai CCS dari refraktori. Kekuatan mekanis dari refraktori *castable* akan meningkat kembali pada temperatur pemanasan 1100-1500°C [8]. Sedangkan, ikatan keramik akan terjadi pada temperatur pemanasan di atas 1800°C.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan material refraktori *low cement castable* alumina tinggi yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Penambahan air yang optimal untuk mendapatkan nilai *Cold Crushing Strength* (CCS) yang tertinggi yaitu sebesar 7% yaitu 114,94 N/mm².
- b. Pemanasan sampel yang optimal untuk mendapatkan nilai CCS tertinggi yaitu pada temperatur 1000°C.
- c. Semakin besar terjadi penyusutan pada sampel refraktori maka akan memiliki nilai CCS semakin besar.

- d. Penambahan air yang lebih sedikit maka akan terjadi penyusutan yang paling besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Daftar pustaka

- [1] Abeer Abdulqader Salih, *Efect of Steel Fibers on the Properties of Refractory Free Cement Concrete*, Baghdad, University of Baghdad, 2012.
- [2] Anonim., *ASTM C 133 Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories*, United States, ASTM International, 2003.
- [3] Charles A. Schacht, *Refractories Handbook*, Ohio, The Ohio State University Columbus, 2004.
- [4] Dedy Supriyadi, *Pelatihan Dasar-Dasar Refraktori*, Bogor, PT. Refratech Mandala Perkasa, 2011.
- [5] Desmond Josua Butar-Butar, *Perencanaan Tanur Busur Listrik dengan Kapasitas 25 Ton Baja Cair*, Sumatera Utara, Universitas Sumatera Utara, 2010.
- [6] Hadi Efendy, *Diktat Refraktori*, Cilegon, PT Mitra Sigma Sejati, 2005.
- [7] Hady Efendy, *Studi Antioksidan pada Refraktori MgO-C Monolitik dengan Bahan Pengikat Tar-Resin*, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [8] Johan Alandra, *Pengujian Sifat Temperatur Pelunakan Material Refraktori Silika (SiO₂) pada Lining Tungku Induksi Peleburan Besi Cor*, Semarang, Universitas Diponegoro, 2012.
- [9] Shackelford. James F., Robert H. Doremus, *Ceramic and Glass Materials*, California, Springer, 2008.
- [10] United Nations Environment Programme, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri*, INDIA, GERIAP, 2006.

**BIDANG III
LIMBAH**



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENYISIHAN COD PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT DARI UNIT REAKTOR ANAEROBIK UNGGUN TETAP (RANUT) DENGAN TEKNIK ELEKTROKOAGULASI

Farida Hanum

Departemen Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155

Telepon (061) 8214396 Fax. (061) 8213250

Email : farida2@usu.ac.id/ida_hanum78@yahoo.co.id

Abstrak

Produksi minyak sawit mentah (crude palm oil, CPO) di Indonesia terus meningkat sehingga akan menambah jumlah limbah cair yang dihasilkan. Teknologi reaktor anaerobik unggun tetap (RANUT) telah banyak dikembangkan, namun karakteristik limbah cair *effluent* RANUT belumlah memenuhi baku mutu limbah cair yang dipersyaratkan oleh pemerintah terutama untuk COD. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dari unit reaktor anaerobik unggun tetap (RANUT) dengan teknik elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi serta menentukan waktu terbaik untuk pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut. Jenis material elektroda yang digunakan adalah aluminium, waktu retensi limbah 1 jam, jarak antar elektroda 5 cm, kuat arus 5 ampere, variasi tegangan adaptor 3, 4, dan 5 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada tegangan 5 volt untuk penyisihan COD sebesar 81,32 % dengan nilai COD 233,5 mg/l pada waktu pengolahan 180 menit. Angka ini berada jauh di bawah baku mutu limbah cair PKS untuk COD yaitu 350 mg/l.

Kata Kunci : Limbah RANUT, Elektrokoagulasi, tegangan adaptor, Elektroda aluminium, Persentasi penurunan COD

Abstract

The production of crude palm oil (CPO) in Indonesia is keep increasing that make the amount of wastewater generated. Technology of anaerobic fixed bed (RANUT) have been developed, but the characteristic of the wastewater effluent of RANUT has not meet the quality standard that required by the goverment especially for COD. Because of that need to make a furhter research about the treatment of palm oil mill from the fixed bed reactor (RANUT) with electrocoagulation technique. Electrocoagulation is a process of coagulation by using a direct current through an electrochemical events are symptoms of electrolyte decomposition. This study aims to determine the effect of voltage on the adapter parameters on the performance of the electrocoagulation system and determine the best time for treatment of palm oil mill effluent. Type of electrode material used is aluminum, waste retention time 1 hour, 5 cm distance between the electrodes, a strong current of 5 amperes, voltage variations adapter 3, 4, and 5 volts. The results showed that the best results are obtained at a voltage of 5 volts for COD removal of 81.32% with a value of 233.5 mg COD / l at 180 minutes of processing time, it indicates that the processed waste has met quality standards for effluent COD MCC is 350 mg / l. Adapun highest turbidity removal percentage was obtained at a voltage of 5 volts and at a time of 180 minutes with the acquisition of 95.08%.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Keywords : Waste of RANUT, Electrocoagulation, voltage adapters, aluminum electrodes, the percentage reduction in COD

1. PENDAHULUAN

Minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*, CPO) merupakan komoditas andalan penghasil devisa bagi Indonesia dari sektor industri agro. Indonesia memegang peranan penting dalam penguasaan pasar CPO dunia dimana sekitar 80 % minyak kelapa sawit yang beredar di pasaran dunia dihasilkan oleh Indonesia dan Malaysia. Diperkirakan pada tahun 2010 perkebunan kelapa sawit dapat menyerap hingga 500 ribu tenaga kerja dan menghasilkan 2,7 juta TBS (tandan buah segar) per tahun dan diperkirakan Indonesia akan menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia (Ditjenbun, 2006). Hal ini dimungkinkan karena ketersediaan lahan maupun tenaga kerja yang lebih kompetitif. Untuk bersaing di pasar global, perkembangan dan persyaratan perdagangan Internasional perlu diantisipasi (Ditjenbun, 2006). Pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang besar, yaitu berkisar antara 600-700 liter/ton tandan buah segar (Naibaho, 1999) atau sekitar 65 % dari TBS (Herawan, 2009). Jumlah limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang besar dan kandungan bahan organiknya yang tinggi berkisar 80 % (DITJEN PPHP, 2006) menjadi peluang besar dalam mencemari lingkungan. Adapun teknik pengolahan LCPKS yang terbaru saat ini untuk menghasilkan biogas adalah teknik Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (RANUT). Penggunaan RANUT untuk pengolahan LCPKS telah dilakukan pada skala prototip dengan kapasitas reaktor 10 m³ oleh Erwinsyah dkk tahun 2008. Dalam tangki RANUT terjadi biodegradasi bahan-bahan organik mencapai ± 90 % (Wulfert, dkk., 2000).

Walaupun teknik RANUT memberi keuntungan dalam menghasilkan biogas, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik keluaran (effluent) RANUT belum memenuhi standar baku mutu yang

ditetapkan oleh Pemerintah. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap limbah effluent RANUT.

Adapun alternatif yang dipilih untuk menjawab permasalahan tersebut adalah dengan mengolah limbah effluent RANUT dengan teknik elektro koagulasi. Elektro koagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan flokulasi-koagulasi. Teknik ini telah dipakai untuk pengolahan limbah cair tekstil (Bambang hari P, Mining harsanti., 2010), mengatasi permasalahan limbah radio aktif (Retno, dkk, 2010), penanganan limbah cair rumah potong hewan (Ardhani, dkk., 2009), air limbah rumah tangga (Pouet, M.F., dkk., 1995), dan limbah cair kimiawi dari industri fiber (Lin, S.H., 1999).

Proses elektrokoagulasi pada prinsipnya berdasarkan pada proses sel elektrolisis. Sel elektrolisis merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi listrik DC (direct current) untuk menghasilkan reaksi elektrodik. Setiap sel elektrolisis mempunyai dua elektroda, katoda dan anoda. Jenis elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda Aluminium yang berperan sebagai sumber ion Al⁺³ di anoda dan berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang terjadi di dalam sel tersebut. Sedangkan di katoda terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel.

Teknik elektrokoagulasi memiliki beberapa kelebihan yaitu peralatan sederhana, mudah dalam pengoperasiannya, waktu reaksi singkat, tidak memerlukan bahan kimia tambahan karena lebih banyak melibatkan proses fisika, selain itu teknik ini lebih ekonomis karena listrik yang digunakan relatif kecil. Dengan kelebihan dan pencapaian nilai efisiensi ini, maka



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

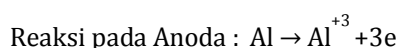
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dimungkinkan untuk aplikasi teknik ini pada skala yang lebih besar.

Prinsip Kerja Elektrokoagulasi

Prinsip dasar dari elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Dalam suatu sel elektrokoagulasi peristiwa oksidasi terjadi di anoda, sedangkan reduksi terjadi di katoda. Dalam reaksi elektrokoagulasi selain elektroda juga melibatkan air yang diolah yang berfungsi sebagai larutan elektrolit. Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi. Untuk proses elektrokoagulasi digunakan elektroda yang terbuat dari aluminium (Al) karena logam ini mempunyai sifat sebagai koagulan yang baik.

Proses elektrokoagulasi pada prinsipnya berdasarkan pada proses sel elektrolisis. Sel elektrolisis merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi listrik DC (direct current) untuk menghasilkan reaksi elektrolit. Setiap sel elektrolisis mempunyai dua elektroda, katoda dan anoda. Anoda berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang terjadi di dalam sel tersebut. Sedangkan di katoda terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel.^[19] Reaksi yang terjadi pada sel elektroda dengan anoda dan katoda yang digunakan aluminium adalah:



Proses anodik mengakibatkan terlarutnya logam aluminium menjadi molekul ion Al^{+3} . Ion yang terbentuk ini, di dalam larutan akan mengalami reaksi hidrolisis, menghasilkan padatan $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ yang tidak dapat larut lagi dalam air. Reaksinya : $\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ yang terbentuk

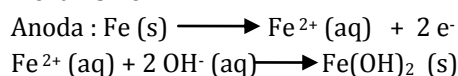
dalam larutan dapat berfungsi sebagai koagulan untuk proses koagulasi-flokulasi yang terjadi pada proses selanjutnya di dalam sel elektrokoagulasi. Setelah proses koagulasi-flokulasi ini selesai maka kontaminan-kontaminan yang berada dalam air buangan dapat terpresipitasi dengan sendirinya.

Reaksi sel merupakan hasil reaksi dari proses anodik dan katodik yang terjadi secara serentak, laju mol ekuivalen yang sama pada masing-masing elektroda. Hasil reaksi sel yang terjadi sangat bervariasi. Dapat berupa bahan-bahan yang terlarut dan ion-ion terlarut seperti Al^{+3} dan OH^- atau berupa bahan padatan yang tidak dapat larut seperti Al_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, dan pembentukan H_2 . Berlangsungnya proses reaksi elektrodik mengakibatkan terjadinya perubahan komposisi elektrolit terutama kenaikan pH karena adanya pelepasan OH^- dan gas H_2 pada reaksi katodik. Besar atau kecilnya pengaruh-pengaruh tersebut tergantung pada rapat arus katoda dan jumlah Al^{+3} yang terhidrolisis. Adanya kenaikan pH karena reaksi katodik pada permukaan katoda akan mengakibatkan logam Aluminium terlapisi oleh suatu lapisan hidroksida yang mengendap (pasivitas).

Elektrokoagulasi mampu menyisihkan berbagai jenis polutan dalam air, yaitu partikel tersuspensi, logam-logam berat, produk minyak bumi, warna pada zat pewarna, larutan humus, dan deflorinasi air. Selain itu, elektrokoagulasi dapat digunakan untuk pengolahan awal teknologi membran seperti reverse osmosis.

Pada elektrokoagulasi, arus kelistrikan mengalir diantara dua elektroda, coagulant diumpankan dari awal dengan electrolytic oksidasi bahan anoda. Dengan anoda besi, $\text{Fe}(\text{OH})_n$ dengan $n = 2$ atau 3 dipasang di anoda. Penyederhanaan oksidasi, mekanisme penurunan dan skema anoda dan katoda elektroda besi dirumuskan sebagai berikut :

❖ Mekanisme 1 :

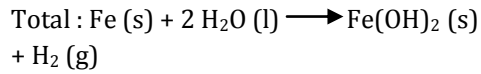
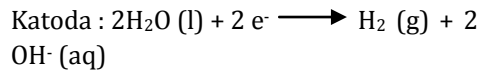




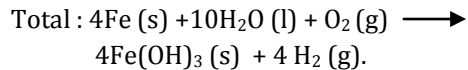
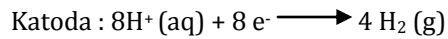
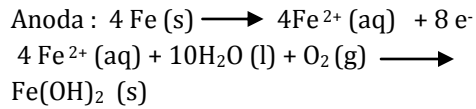
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

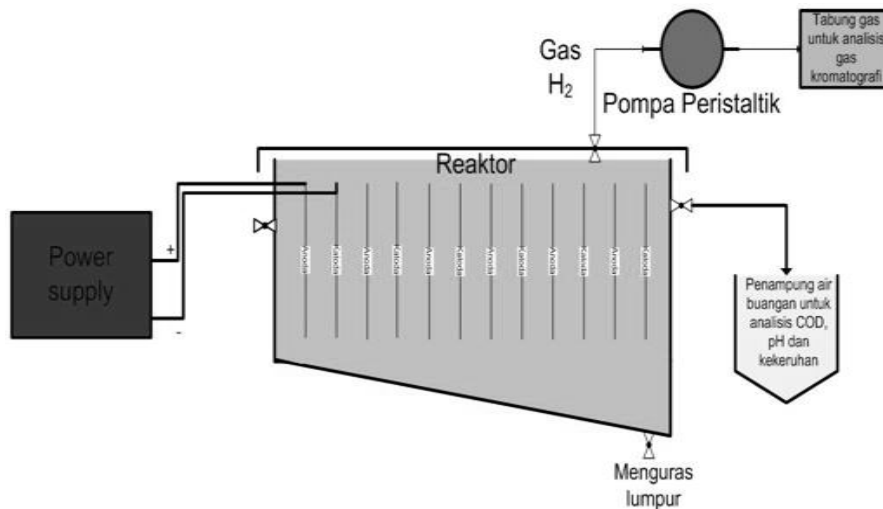


❖ Mekanisme 2 :



Sel elektrokoagulasi dioperasikan dengan menggunakan penyearah arus, power supply dengan rentang arus listrik 0-60 ampere dan tegangan listrik 0-15 volt, ampere meter digital dengan rentang arus listrik 0-20 ampere dan voltmeter digital dengan rentang tegangan listrik 0-300 volt DC. Pengaruh tegangan listrik terhadap penurunan COD dan beberapa parameter lain diobservasi dalam waktu reaksi selama 1 hingga 8 jam di dalam reaktor. Volume reaktor yang digunakan

adalah 70 liter. Lembaran aluminium yang telah dipotong sesuai dengan ukuran, dihubungkan dengan power supply (PS). Setengahnya dengan kutub positif PS, bertindak sebagai katoda, dan setengahnya lagi dihubungkan dengan kutub negatif PS, selanjutnya bertindak sebagai Anoda. Rangkaian yang digunakan merupakan rangkaian paralel. Berat aluminium telah ditimbang sebelum dan setelah proses. Pelat aluminium yang digunakan adalah pelat yang umum di pasaran dengan kandungan Al sebesar 95-99%. Tebal pelat yang digunakan sebesar 3 mm. Sebagai larutan elektrolit yang digunakan adalah LCPKS. LCPKS diambil dari Keluaran RANUT yang diperoleh dari PKS Adolina P.T. Perkebunan Nusantara IV. Adapun gambar dari rangkaian 1 set peralatan elektrokoagulasi dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Peralatan elektrokoagulasi

Pengoperasian Sel

Sebelum pengoperasian proses elektrokoagulasi, semua bahan dan alat yang digunakan harus dalam keadaan baik, bagi menjamin tidak ada masalah pada proses yang akan dilakukan. Perhatian juga ditekankan kepada elektroda dan kabel yang merupakan salah satu faktor penting dalam

arus listrik, karena dapat menurunkan besar arus listrik apabila sambungan keduanya tidak dalam keadaan baik. Pengoperasian dimulai dengan memasukkan cairan pada reaktor. Setelah itu elektroda dipasang ke dalam reaktor dengan menyambungkan kabel kepada setiap elektroda.

Arus listrik yang digunakan berasal dari



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

listrik AC yang dirubah menjadi arus DC menggunakan DC power supply dan rectifier sehingga memudahkan dalam mengatur tegangan yang akan melewati rangkaian sel. Dalam waktu tertentu dilakukan analisis sample dalam waktu 8 jam dengan interval 1 jam. Seluruh analisis dilakukan sesuai dengan metode standar. Permukaan elektroda setelah reaksi akan mangalami pasivitas sehingga diperlukan pembersihan pada permukaan elektroda dengan menggunakan kertas pasir grade 400. Penelitian dilakukan dengan variasi tegangan 2 hingga 4 volt.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Analisa Awal Karakteristik Limbah Cair Effluent RANUT

Limbah cair yang diolah dalam penelitian ini adalah limbah cair yang berasal dari buangan Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (RANUT). Sesuai dengan tujuan utama penelitian ini yaitu untuk melihat persentase penyisihan polutan, maka perlu adanya analisa awal karakteristik limbah cair yang akan diolah. Analisa dilakukan pada setiap sampel limbah yang akan diolah, analisa yang dilakukan meliputi : COD, TS, TSS, pH, dan turbiditas. Adapun hasil analisa tersebut disajikan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Karakteristik limbah awal

Run	COD (mg/l)	TS (mg/l)	TSS (mg/l)	pH	Turbiditas NTU
1	1409,22	1250	918	7,8	942,33
2	1484,5	1380	968	7,9	965,2
3	1430,5	1250	924	7,7	1022,33
4	1279,9	1051	871,6	7,6	899
5	1250,25	1027	723	7,5	718
6	1273,8	1039	745	7,5	726,9

Sumber : Sampel sebelum pengolahan

Dari hasil analisa di atas diketahui bahwa karakteristik effluent RANUT terutama untuk parameter TSS dan COD masih sangat jauh dari standar baku mutu limbah cair PKS yang berlaku. Secara fisik limbah ini berwarna coklat kehitaman, sedikit berbau dan temperatur kira-kira 35 °C.

2.2 Pengaruh Waktu Elektrokoagulasi Terhadap penyisihan COD

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter yang menggambarkan nilai kandungan bahan organik dalam limbah cair baik yang biodegradable maupun nonbiodegradable, dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi. Dalam limbah cair pabrik kelapa sawit, kandungan bahan organik terlarut lebih besar daripada yang tersuspensi (Wulfred dkk., 2000).

Pada proses pengolahan limbah cair RANUT, molekul-molekul bahan organik akan

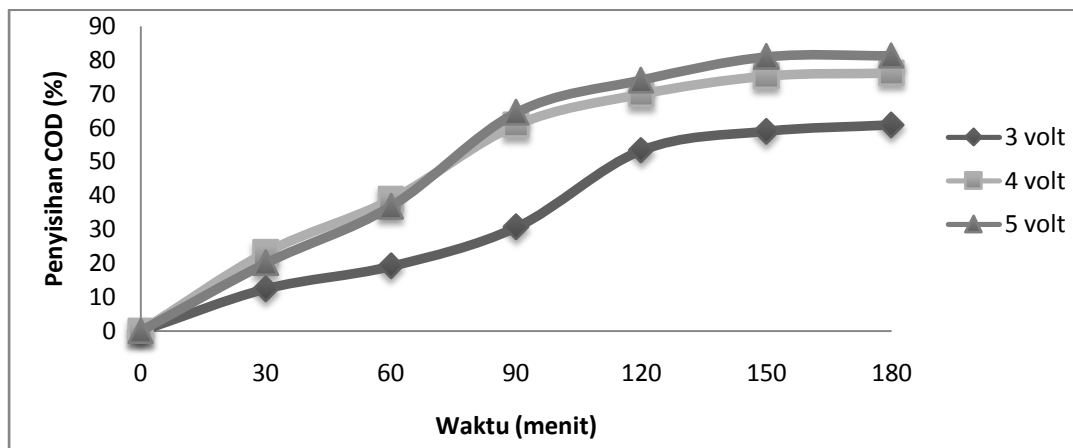
mengalami destabilisasi oleh koagulan dan juga medan listrik dalam larutan selama proses berlangsung. Ikatan-ikatan fisika antar molekul organik akan terputus sehingga memungkinkan molekul-molekul tersebut untuk teradsorpsi oleh flok-flok koagulan dan kemudian mengendap setelah mencapai berat yang cukup. Adanya gas-gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan selama proses menyebabkan sebagian dissolved organic dan material terlarut lainnya mengalami flotasi, termasuk flok hidroksida yang menangkap sebagian limbah organik yang tidak terdeposit pada batang katoda. Flok-flok yang mengapung baru akan mengendap apabila telah mencapai berat yang cukup (Yulianto dkk., 2009). Gambar 5.1. berikut ini menunjukkan bahwa profil persentasi penurunan nilai COD terhadap waktu pada limbah RANUT yang diolah dalam reaktor elektrokoagulasi



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



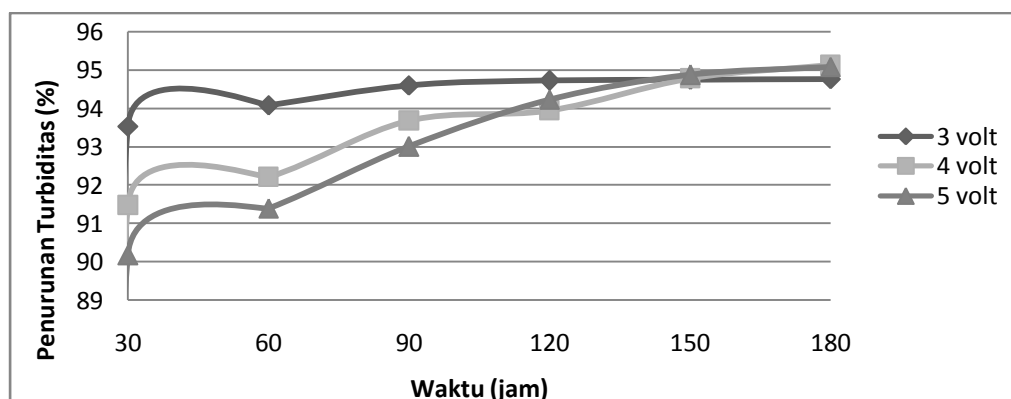
Gambar 2. Penyisihan COD Terhadap Waktu

Dari gambar diatas terlihat bahwa penurunan COD semakin besar dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Penurunan COD tertinggi diperoleh pada tegangan 5 volt pada waktu operasi 180 menit dengan penyisihan COD sebesar 81,32 %. Turunnya konsentrasi COD menandakan berkurangnya senyawa organik dalam limbah cair, karena pada dasarnya pengukuran COD bertujuan untuk melihat banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air (Sofiani, 1999). Hal ini sesuai dengan teori double layer bahwa lingkaran terdalam akan diisi oleh koagulan bermuatan positif akan menyerap ion-ion negatif yang terletak pada lingkaran lebih luar. Muatan positif dan negatif bertemu maka

terjadi gaya Van der Waals (tarik menarik) antar kedua ion tersebut sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat dan terbentuklah koagulan yang selanjutnya akan membentuk flok yang dapat menurunkan senyawa organik dalam limbah (Yulianto, 2009).

2.3 Pengaruh Waktu Terhadap Penurunan Turbiditas limbah Cair PKS

Penyisihan kadar polutan dengan menggunakan teknik elektrokoagulasi pada dasarnya merupakan proses penyisihan secara fisika terhadap polutan terutama polutan berupa partikel-partikel padat dan padatan tersuspensi. Hasil analisa penyisihan turbiditas ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. Penyisihan Turbiditas terhadap Waktu

Dari gambar diatas terlihat bahwa tertinggi diperoleh pada tegangan 5 volt dan persentase penyisihan turbiditas yang pada waktu 180 menit dengan perolehan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

95,08 %. Nilai ini menunjukkan bahwa teknik elektrokoagulasi sangat efektif digunakan untuk menurunkan turbiditas. Nilai turbiditas dari limbah awal adalah 718 NTU menjadi 35,5 NTU pada hasil akhir olahan. Hasil ini sesuai dengan penelitian terdahulu bahwa elektrokoagulasi sangat efektif dalam menurunkan turbiditas dari limbah olahan (Hermida, 2007).

3. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan mengenai pengolahan limbah cair PKS dari unit RANUT dengan teknik elektrokoagulasi dapat disimpulkan hal-hal berikut ini :

- Persentasi penurunan tertinggi yang dihasilkan untuk COD adalah 81,32 % dan turbiditas 95,08 %.
- Nilai persentasi tertinggi diperoleh pada tegangan 5 volt dan waktu operasi 180 menit.
- Semakin tinggi nilai tegangan yang diberikan maka akan semakin tinggi pula persentasi penyisihan yang diperoleh.
- Limbah hasil olahan elektrokoagulasi sudah memenuhi baku mutu limbah cair PKS yaitu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/Kep-MenLH/10/1995, tentang baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit.

3.2 Saran

- Diharapkan penelitain selanjutnya mengkaji jarak elektroda yang digunakan dan dimasukkan dalam variasi penelitian.
- Perlu adanya teknik atau metode untuk menanggulangi endapan yang terbentuk.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih, kepada :

- Lembaga Riset dan pengabdian masyarakat DIKTI
- M. Ansori Nasution selaku peneliti di PPKS, Medan

5. DAFTAR PUSTAKA

Anonim, Buku Panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Minyak Kelapa Sawit di Indonesia, 1998

Agustin M B; Sengpracha W P; Phutdhawong W; Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent, International Journal of Environmental Research and Public Health5(3), 2008, hal 177-80

Departemen Pertanian, Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit, Jakarta, 2006

Fitri Ardhani, dkk; Penanganan Limbah Cair RPH Dengan Metode Elektrokoagulasi, Seminar Tugas Akhir S1 Teknik Kimia UNDIP Semarang, 2009

Indah Purwaningsih; Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi, 2008, UII Yogyakarta

Kargi F; Catalkaya E C; Uzuncar S; Hidrogen Gas Production from Waste Anaerobik Sludge by Electrohydrolysis: Effects of Applied DC Voltage International Journal of Hydrogen Energy36 20, 2011, hal 49-56

M. Ansori Nasution, dkk; Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent as Wastewater Treatment and Hidrogen Production Using Electrode Aluminum J. Environ. Qual.40 133, 2011, hal 2-9

M. Ansori Nasution,; Pengolahan LCPKS Keluaran Fat Pit, kolam Anaerobik dan Reaktro Biogas dengan Elektrokoagulasi, Prosiding InSINas 2012

Niam M F, dkk; Removal of COD and Turbidity to Improve Wastewater Quality Using electrocoagulation technique The Malaysian Journal of Analytical Sciences Vol 11, No 1, 2007, hal 198-205

Phalakornkule C; Sukkasem P; Mutchimsattha C; Hidrogen recovery from the electrocoagulation treatment of dye-containing wastewater International Journal of Hydrogen Energy 35 10, 2010, hal 394-943

Siregar Y D I, Produksi Gas Hidrogen Dari Limbah Alumunium Valensi2 36, 2010, hal 2-7

Wulfert K, dkk; Treatment of POME in



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Anaerobik Fixed Bed Digesters. In: International Oil Palm Conference, 2002
- Wulfert K, dkk; Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Secara Anaerobik. In: Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit: Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2000



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH TANGGA DENGAN METODE BIO SAND FILTER + KARBON AKTIF

Rusdi^{1*}, Arif Rovianto², Sahroni², Wahyudi Widodo²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tirtayasa
Jalan Raya Sudirman Km.3 Cilegon-Banten

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

*Email: rusdi.rachman@ymail.com

Abstrak

Salah satu alternatif pengolahan limbah cair rumah tangga yang mudah, murah, dan aman bagi lingkungan, yaitu dengan memanfaatkan media yang ada dan yang terdapat di alam seperti: kerikil, pasir, batok kelapa, dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan kualitas air yang optimum dengan menggunakan biofilter sederhana berupa biosand filter + karbon aktif dari arang batok kelapa. Metode penelitian ini berupa dua (2) pipa paralon bekas dengan panjang 65 cm. Paralon pertama/*biosand filter* (BSF) diisi pasir (halus dan kasar) dan kerikil kemudian diisi limbah cair rumah tangga sampai ketinggian 5 cm diatas permukaan pasir, diamkan selama 11 hari agar terbentuk lapisan biofilm. Kemudian di alirkan ke paralon kedua yang berisi karbon aktif (dari batok kelapa) secara kontinu. Pada penelitian dilakukan variabel tetap berupa air limbah dengan pH 6,2 ; TSS 214 mg/lit. ; COD 283 mg/lit. ; BOD 161 mg/lit. dan variabel bebas berupa ketinggian pasir dan kerikil dalam paralon pertama. Di dapat hasil BSF 1 dengan rasio ketinggian (cm) pasir halus : pasir kasar : kerikil (40:10:10) pH 7,34 ; TSS 52 mg/lit. ; COD 101 mg/lit. ; BOD 57 mg/lit. dan BSF II (30:15:15) pH 6,9 ; TSS 73 mg/lit. ; COD 124 mg/lit. ; BOD 70 mg/lit.

Kata kunci: Air Limbah Rumah Tangga, *Biosand filter*, karbon aktif

Abstrac

One alternative domestic waste water treatment that is easy, inexpensive, and safe for the environment, the use of media that exist and there is in nature such as: gravel, sand, coconut shells, and others. This study was conducted to determine the optimum water quality changes using a simple biofilter form, biosand filter + activated carbon from coconut shell charcoal. This research method in the form of two (2) PVC ex-pipe with the a lengt of 65 cm. The first PVC / biosand filter (BSF) filled with sand (fine and coarse) and then filled gravel domestic, waste water to a height of 5 cm above the sand surface, let stand for 11 days in order to form biofilm. Then piped to a second PVC containing activated carbon (from coconut shells) are countinuous. In a study conducted in the form of waste water remains variable with a pH of 6.2; TSS 214 mg/l; COD 283 mg/l; BOD 161 mg/l and independent variables such as the height of the sand and gravel in the first PVC. BSF I can result in the ratio of height (cm) of the fine sand : coarse sand : gravel (40:10:10) pH 7.34; TSS 52 mg/l; COD 101 mg/l; BOD 57 mg/l and BSF II (30:15:15) pH 6.9; TSS 73 mg/l; COD 124 mg/l; BOD 70 mg/l.

Keywords: household wastewater, biosand filter, activated carbon



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan lingkungan saat ini menjadi perhatian dunia dan para peneliti dikarenakan semakin hari lingkungan semakin tercemar. Limbah cair rumah tangga adalah limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, cucian, dan *septic tank*. Air limbah tersebut harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan air limbah tersebut secara baik dan benar, yang dapat digunakan sebagai air bersih yang sesuai dengan standar kesehatan dan baku mutu kualitas air bersih.

Salah satu upaya mengolah limbah cair rumah tangga (*grey water*) dengan cara sederhana yaitu dengan pengolahan limbah rumah tangga menggunakan *biosand filter* dan karbon aktif. Menurut Anggi R U. (2013) reaktor *biosand filter* (BSF) dapat menurunkan konsentrasi COD dengan efisiensi rata-rata sebesar 67,54%. Sedangkan untuk reaktor *activated carbon*, efisiensi penurunan konsentrasi COD berkisar antara 81,65% - 89,21%. Hal ini dikarenakan adanya proses biokimia, filtrasi, aerasi dan adsorpsi pada *biosand filter* dan *activated carbon*. Menurut Vini Widyaningsih (2011), *biosand filter* mampu menaikkan nilai pH air limbah kantin hingga 7-8,5, menurunkan nilai TSS sebesar $\pm 96,99\%$ dan BOD sebesar $\pm 50-76\%$.

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003, air limbah Rumah Tangga terdiri dari parameter BOD, COD, TSS, dan pH yang apabila keseluruhan parameter tersebut dibuang langsung ke badan penerima, maka akan mengakibatkan pencemaran air. Oleh karena itu sebelum dibuang ke badan penerima air, terlebih dahulu harus diolah sehingga dapat memenuhi standar air yang baik. Berikut baku mutu limbah cair rumah tangga menurut KepMenLH No. 112 Tahun 2003.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah cair rumah tangga dengan *biosand filter* dan karbon aktif.

Dari hasil ini diharapkan limbah cair hasil pengolahan dapat memenuhi baku mutu limbah cair dalam beberapa parameter yang diamati.

Tabel 1.1 Baku Mutu Limbah Cair Rumah Tangga

Parameter	Gambaran Kualitas limbah domestik	SK. MenLH no 112 tahun 2003
BOD ₅	200 mg/l,	100 mg/l,
COD	-	-
TSS	200 mg/l,	100 mg/l,
pH	6-8.	6-9

(Sumber: KepMenLH No. 112 Tahun 2003)

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

- Untuk mengetahui perubahan kualitas limbah cair rumah tangga setelah melalui proses pengolahan dengan *biosand filter* dan karbon aktif
- Untuk mengetahui efektivitas *biosand filter* dan karbon aktif dalam mengolah limbah cair rumah tangga.

2. METODE

2.1 Alat Dan Bahan

1. Peralatan utama

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah satu unit Reaktor *biosand filter* dan satu unit Reaktor karbon aktif yang terbuat dari plastik PVC dengan diameter 4 inch.

2. Peralatan pelengkap

- Bak penampung limbah, Bak ini berfungsi untuk menampung air limbah. Dapat berupa galon atau ember.
- Botol sampel, Botol sampel yang terbuat dari plastik berfungsi untuk menampung air sampel yang akan dianalisis.
- Reaktor *biosand filter* dan Reaktor karbon aktif, Berfungsi sebagai pengolahan limbah cair Rumah Tangga.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

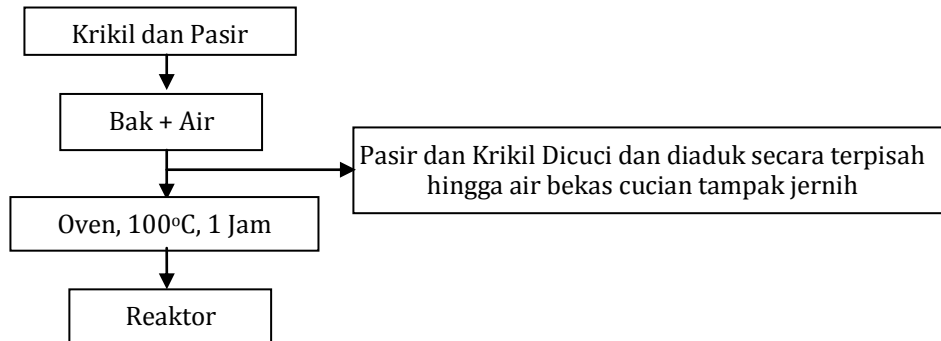
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- d. Hose/selang kecil, Berfungsi untuk mengalirkan air limbah keluar.
- e. Oven, Berfungsi Untuk mengeringkan pasir.

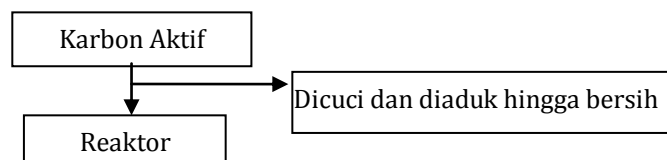
2.2 Prosedur pengoperasian Biosand Filter dan Karbon Aktif

- a) Tahap persiapan pencucian media (pasir dan krikil)



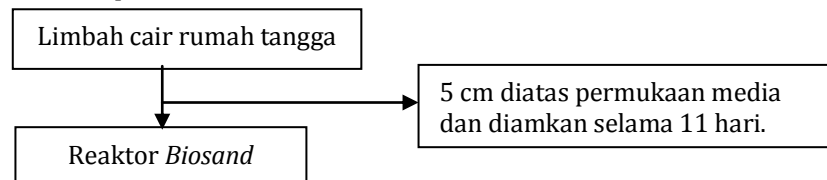
Gambar 2.1 Skema pencucian media (pasir dan krikil)

- b) Tahap persiapan pencucian Karbon Aktif



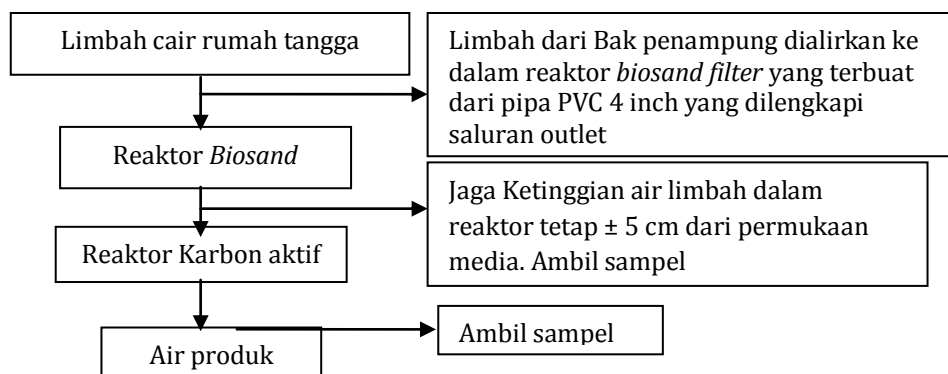
Gambar 2.2 Skema pencucian Karbon Aktif

- c) Penumbuhan Bakteri pada Reaktor *Biosand Filter*



Gambar 2.3 Skema Penumbuhan Bakteri pada Reaktor *Biosand Filter*

- d) Pengoperasian Reaktor *Biosand Filter* dan Karbon Aktif



Gambar 2.4 Bagan Pengoperasian Reaktor *Biosand Filter* dan Karbon Aktif



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

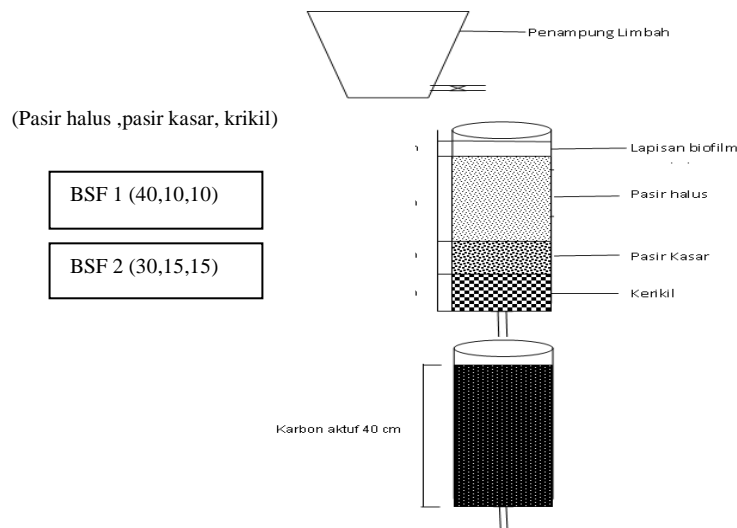
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Setelah diketahui hasil kandungan dari beberapa parameter tersebut, Untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi zat pencemar pada air limbah rumah tangga,

dalam penelitian ini digunakan formula berikut: $E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$ (1)

dimana E : efisiensi

C_0 ; C_1 : konsentrasi awal ; akhir



Gambar 2.5 Skema Alat Pengolahan limbah cair Rumah Tangga Dengan *biosand Filter* dan Karbon Aktif

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian pH, TSS, COD dan BOD Menggunakan Reaktor *Biosand Filter* (BSF)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi pH, TSS, COD dan BOD dalam air limbah rumah tanggamengalami penurunan setelah melalui proses pada unit BSF. Hal ini dapat dilihat Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 yang menunjukkan pH, TSS, COD dan BOD sebelum dan sesudah melalui unit BSF.

Tabel 1. Konsentrasi pH, TSS, COD dan BOD pada *inlet* dan *outlet* serta efisiensi penurunan pada BSF I (40:10:10)

Parameter	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)
PH	6,2	7,34	-
TSS	214	52	70,45
COD	283	101	64,31
BOD	161	57	64,6

Tabel 3.2. Konsentrasi PH, TSS, COD dan BOD pada *inlet* dan *outlet* serta efisiensi penurunan pada BSF II (30:15:15)

Parameter	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)
pH	6,2	6,9	-
TSS	214	73	58,52
COD	283	124	56,18
BOD	161	70	56,52

Dapat disimpulkan bahwa reaktor BSF sudah efektif untuk mencapai standar baku mutu yang diijinkan, namun untuk mendapatkan hasil yang maksimal diperlukan pengolahan lanjutan dengan menggunakan karbon aktif

3.2 Pengujian KonsentrasiPH, TSS, COD dan BODMenggunakan Reaktor Karbon Aktif

Hasil pengujian konsentrasi pH, TSS, COD dan BOD dari limbah Rumah Tanggasetelah



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

melalui unit karbon aktif mengalami penurunan yang signifikan, di mana *outlet* dari kedua unit BSF menjadi *inlet* untuk unit karbon aktif. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Hasil pengujian konsentrasi pH, TSS, COD dan BOD pada BSF I (40:10:10) dan Karbon Aktif 40 cm.

Parameter	Outlet BSF 1 (mg/L)	Outlet (mg/L)	
		KA 1- 40 cm	Efisiensi (%) KA 1- 40 cm
pH	7,34	7,49	-
TSS	52	16	69,23
COD	101	26	74,26
BOD	57	14	75,44

Tabel 3.4. Hasil pengujian konsentrasi PH, TSS, COD dan BOD pada BSF II (30:15:15) dan Karbon Aktif 40 cm.

Parameter	Outlet BSF 2 (mg/L)	Outlet (mg/L)	
		KA 1- 40 cm	Efisiensi (%) KA 1- 40 cm
pH	6,9	7,1	-
TSS	73	28	60
COD	124	33	73,38
BOD	70	18	74,28

Menurut Bansode, dkk (2004) dalam Anggi R U. (2013), semakin banyak dosis karbon aktif yang digunakan maka akan semakin baik dalam menurunkan kadar COD. Menurut Santhy dan Selvapathy (2006), semakin lama waktu kontak pada karbon aktif maka akan semakin baik dalam menurunkan kadar organik.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Variasi reaktor BSF I (40:10:10) lebih baik untuk menurunkan kadar pH, TSS, COD dan BOD Limbah Rumah Tangga dari pada reaktor BSF II
- Reaktor BSF1 (40:10:10) yang dilanjutkan dengan reaktor karbon aktif 1(40) merupakan reaktor yang menghasilkan produk air bersih lebih baik dibandingkan dengan Reaktor BSF 2 (30:15:15) yang dilanjutkan dengan reaktor karbon aktif 1(40).

4.2 Saran

Saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengolahan limbah Rumah Tangga menggunakan *biosand filter* dengan rentang waktu pembuatan biofilm > 11 hari untuk mengetahui pengaruh lamanya waktu terhadap tingkat efisiensi.
- Perlu menganalisa jenis bakteri yang tumbuh di media biosand filter.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anngi, R.U. (2013), "Pengolahan Limbah Cair Laundry dengan Menggunakan Biosand Filter dan Activated Carbon", Jurnal Teknik Sipil UNTAN, Vol. 13, No.1.
- Damaryanti Lita dkk. (2011), "Pengaruh Penambahan Media Pada Sumur Resapan dalam Memperbaiki Kualitas Air Limbah Rumah Tangga", Jurnal Sains & Teknologi, Vol.10 No.2, halaman 61-66.
- Filtra P. Trisda (2011), "Pemanfaatan Karbon Aktif untuk Meningkatkan Kualitas



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Effluent Tangki Septik Bio-Filter*", Skripsi Universitas Indonesia.
- Nurhayati Nunung (2009), *"Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Metode Saringan Cepat"*, Jurnal Ilmiah FT. USNI, Vol. 5, No. 2
- Puspitahati Cony dan Bambang Didik S. (2011), *"Studi Kinerja Biosand Filter dalam Mengolah Limbah Laundry dengan Parameter Fosfat"*, Jurnal Ilmiah ITS.
- Peraturan Men.LH. No. 112 (2013), *"Baku Mutu Air Limbah Rumah Tangga"*.
- Tato Syahrial (2010), *"Mengolah Limbah Cair Domestik dengan Filter Bio-Geokimia"*, Desertasi.
- Vina Primasari (2011), *"Pemanfaatan Air Limbah Rumah Tangga sebagai Sumber Air Bersih dengan Menggunakan Bio-Filter Sederhana"*, Skripsi T. Lingkungan ITS.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PEMANFAATAN LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI PAPAN KOMPOSIT DENGAN VARIASI PANJANG SERAT

Rina Lusiani^{1*}, Sunardi, Yogie Ardiansah

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman km. 3, Cilegon – 42435.

Email : rina_lusiani@yahoo.com

Abstrak

Potensi limbah tandan kosong kelapa sawit yang kurang dimanfaatkan menjadi inspirasi untuk pembuatan papan komposit dari limbah tersebut. Pembuatan papan komposit dari limbah tandan kelapa sawit bertujuan untuk menghasilkan produk furnitur yang ramah lingkungan dan memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan yang ada di pasaran. Bahan yang digunakan adalah serat tandan kelapa sawit, serbuk kayu sengon resin epoxy dan PVAc. Fraksi volume dari komposit ini adalah serat tandan kelapa sawit 15%, serbuk kayu 50%, resin epoxy 15% dan lem fox 20%. Pembuatan bahan dilakukan dengan metode *cold press single punch* dengan tekanan 300 kg/cm². Karakteristik bahan yang diteliti yaitu densitas, pengembangan tebal, kekerasan, impak, bending serta pengamatan struktur mikro. Dari hasil pengujian diperoleh papan komposit dengan karakteristik optimum yaitu pada panjang variasi serat 15 mm. Papan komposit variasi panjang 15 mm memiliki nilai densitas 0.973 g/cm³, pengembangan tebal 1.025%, kekerasan 26 N/mm², nilai max force 41.904 N, batas elastisitas 904,745 N/mm², nilai impak 8.247 kJ/m².

Kata kunci: panjang serat, serat tandan kosong kelapa sawit, papan komposit

Abstrac

Potential of wasted the empty bunches of oil palm that are less utilized becoming the inspiration for the manufacture of composite boards from such waste. Manufacture of composite boards from wasted the empty bunches of oil palm aims to produce furniture that are environmentally friendly and has better characteristics than there is on the market. The materials used are bunches of oil palm fiber, sengon sawdust, epoxy resin and PVAc. The volume fraction of the composite bunches of oil palm fiber are 15%, 50% sengon sawdust, 15% epoxy resin and 20% PVAc. Manufacture of material carried by the cold press method with single punch pressure of 300 kg/cm². Characteristics of the tasted such as material density, increasing of thickness, hardness, impact, bending and microstructure observation. From the test results obtained composite board with optimum characteristics, that is the length variation of fiber 15 mm. Composite board 15 mm length variation has the density 0.973 g/cm³, the increasing of thickness 1.025%, hardness 26 N/mm², maximum force 41.904 N, the limit of elasticity 904,745 N/mm² and the impact value is 8,247 kJ/m².

Keyword: length fiber, bunches of oil palm fiber, composite board

1. Pendahuluan

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan

pabrik/industri pengolahan minyak kelapa sawit. Jumlah produksi kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

peningkatan. Pada tahun 2010 sebesar 21.958.120 ton dan pada tahun 2011 meningkat menjadi 22.508.011 ton. Di Provinsi Banten sendiri produksi kelapa sawit tahun 2008 mencapai 25.865 sampai tahun 2012 mencapai 26.561 ton (BPS 2013). Karena melimpahnya sumber daya alam tersebut, terdapat potensi besar untuk memanfaatkan limbah kelapa sawit. Limbah yang digunakan dari kelapa sawit adalah bagian tandan kosong kelapa sawit. Limbah tandan kosong kelapa sawit dimanfaatkan dalam bentuk serat menjadi papan komposit.

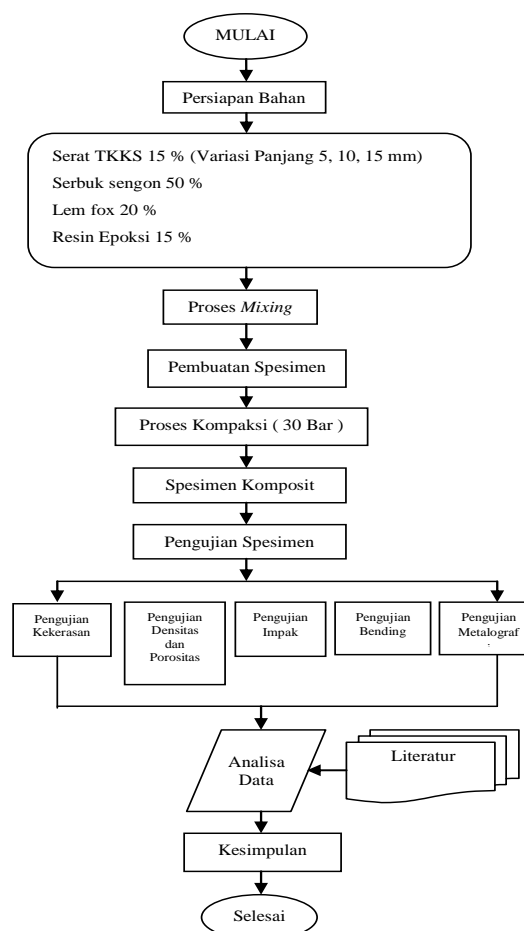
Teknologi pada saat ini banyak yang menggunakan konsep yang ramah lingkungan dan *back to nature*. Komposit ini termasuk salah satu teknologi yang berkonsep ramah lingkungan dan *back to nature*. Karena hasil komposit ini tidak menghasilkan limbah yang dapat merusak alam, tetapi memanfaatkan limbah alam seperti tandan kelapa sawit dan serbuk gergajian kayu sengon yang tidak termanfaatkan sebagai bahan dasar. Salah satu bahan campuran komposit ini berasal dari tanaman atau serat tanaman sebagai penguat dan matriksnya adalah polimer. Penggunaan komposit dimaksudkan untuk memanfaatkan limbah tandan kelapa sawit dan serbuk gergajian kayu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembuatan komposit dengan memanfaatkan limbah pada industri kelapa sawit. Sehingga dapat digunakan sebagai material meubel atau *furniture* untuk menggantikan bahan kayu. Dengan adanya komposit ini, diharapkan akan memberi peluang usaha industri meubel lebih kreatif dan inovatif dalam berkreasi juga ikut serta melestarikan lingkungan.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilengkapi dengan diagram alir penelitian. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Bahan yang digunakan

- Serat tandan kelapa sawit
- Serbuk kayu sengon
- PVAc (lem Fox)
- Resin epoxy
- NaOH
- Aquades

2.3 Alat yang digunakan

- Gunting dan pisau
- Jangka sorong
- Timbangan digital
- Mixer
- Mesin press
- Cetakan
- Ayakan (*screening*)
- Alat uji kekerasan
- Alat uji impak
- Alat uji *bending*
- Stopwat



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pembuatan Spesimen

Pembuatan material komposit terdiri dari beberapa jenis bahan penyusun. Pada komposit variasi 1 terdiri dari serat tandan kelapa sawit 15% dengan panjang 5 mm, serbuk kayu sengon 50 % mesh 40, lem fox 20% dan resin epoksi 15%. Pada variasi dua dan tiga komposisi dan bahan penyusun sama dengan variasi satu, hanya berbeda pada panjang seratnya. Untuk variasi pertama serat tandan kelapa sawit berukuran panjang 5 mm, variasi kedua panjang 10 mm, dan variasi ketiga dengan panjang serat tandan kelapa sawit 15 mm. Bentuk awal spesimen berbentuk balok dengan ukuran panjang 115 mm, lebar 70 mm, dan tinggi 40 mm. Pembuatan komposit ini ditekan dengan tekanan 300 bar menggunakan mesin *press* hidrolik.



Gambar 2. Spesimen Komposit

3.2 Pengujian Densitas

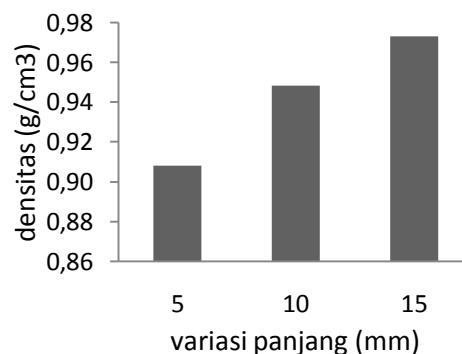
Densitas atau massa jenis secara teoritis adalah massa per satuan volume. Bahan komposit yang dipengaruhi dengan variasi panjang serat 5, 10, 15 mm akan mempengaruhi densitasnya. Dalam pengujian komposit ini didapat data densitas komposit yang tertera pada table 1.

Dari hasil pengujian densitas, semakin panjang serat semakin besar pula nilai densitasnya. Walaupun kenaikan nilai densitasnya dari setiap variasi komposit tidak terlalu jauh. Kenaikan nilai densitas ini dikarenakan semakin panjang variasi serat jumlah seratnya semakin sedikit. Sehingga semakin panjang variasi serat lebih sedikit

untuk matriks menyelimuti serat yang menimbulkan densitas yang lebih tinggi. Karena ikatan serat oleh matriks mempengaruhi nilai porositas yang berbanding terbalik dengan kerapatan.

Tabel 1. Data perhitungan uji densitas

No	Kode Komposit	Panjang serat (mm)	Densitas (g/cm ³)
1	A	5	0.908
2	B	10	0.948
3	C	15	0.973
4	Papan partikel di pasaran	-	0.660



Gambar 3. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap nilai kerapatan

3.3 Pengujian Pengembangan Tebal

Pengujian pengembangan tebal dilakukan dengan direndam air selama 24 jam pada temperatur ruang setiap variasi komposit. Dalam pengujian komposit ini didapat persentase pengembangan tebal komposit yang tertera pada tabel 2.

Dari hasil pengujian pengembangan tebal di atas, nilai persentase pengembangan tebal menurun dengan semakin panjangnya panjang serat. Hal ini disebabkan karena adanya porositas. Pada data sebelumnya nilai densitas makin tinggi dengan makin bertambahnya panjang serat. Hal ini yang



Seminar Nasional Intergrasi Proses

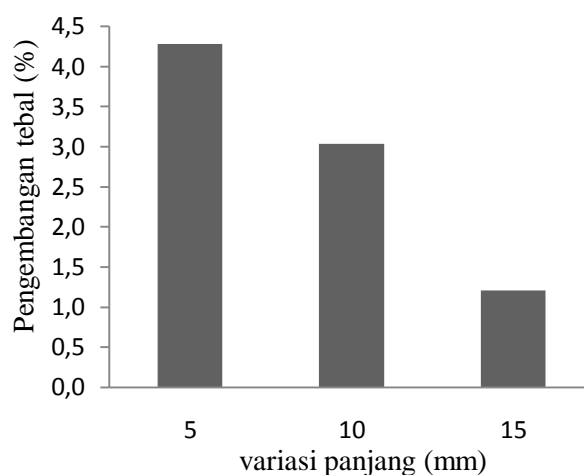
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

memperkuat karena secara teori nilai porositas. densitas berbanding terbalik dengan nilai

Tabel 2.Data perhitungan uji pengembangan tebal

No	Kode Komposit	Panjang serat (mm)	Pengembangan tebal (%)
1	A	5	4.274
2	B	10	3.030
3	C	15	1.205
4	Papan partikel di pasaran	-	18.189



Gambar 4. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap pengembangan tebal papan komposit

3.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *ball indentation* menggunakan indenter bola baja berdiameter 5 mm dan pembebanan 49 N. Uji kekerasan ini

menggunakan standar pengujian ISO 2039-1.

Benda uji berbentuk balok dengan panjang 70 mm, lebar 35 mm dan tinggi 14 mm. Data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3.Data pengujian kekerasan (*ball indentation*)

No	Kade komposit	Panjang Serat (mm)	Ball Indentation Hardness(N/mm ²)
1	A	5 mm	17
2	B	10 mm	21
3	C	15 mm	26
4	Papan partikel di pasaran	-	22

Dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pengaruh panjang serat terhadap nilai kekerasan komposit. Pada komposit A didapat nilai kekerasan terendah dengan 19 N/mm² dan komposit C mempunyai nilai kekerasan

tertinggi dengan 25 N/mm². Nilai kekerasan ini dipengaruhi oleh nilai densitas, semakin tinggi nilai densitas semakin bagus kerapatannya. Dengan kerapatan yang baik



Seminar Nasional Intergrasi Proses

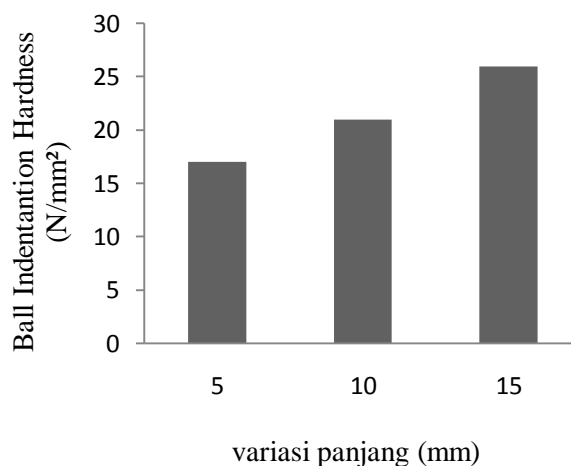
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

maka nilai kekerasan komposit tersebut semakin tinggi.

Pengujian kekerasan untuk papan partikel yang ada di masyarakat diperoleh nilai kekerasan 22 N/mm². Nilai komposit A dan B yang nilai kekerasannya dibawah papan

partikel yang ada di masyarakat, sedangkan komposit C nilai kekerasannya lebih baik dibandingkan papan partikel yang ada di pasaran. Pengaruh panjang serat terhadap kekerasan komposit dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap nilai kekerasan

3.5 Pengujian Impak

Pengujian impak yang dilakukan menggunakan metode *charpy* dengan mengacu pada standar SNI 179. Benda uji berukuran panjang 80 mm lebar 10 mm dan

tebal 4 mm diletakkan horizontal pada alat uji dan dihantamkan oleh pendulum yang berenergi 2 joule dengan kecepatan 2.9 m/sec². Data hasil pengujian impak dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah.

Tabel 4. Data Uji impak

Kode komposit	Panjang serat (mm)	Kekuatan impak (kJ/m ²)
1 A	5 mm	4.228
2 B	10 mm	6.228
3 C	15 mm	8.247
4 Papan partikel di pasaran	-	3.201

Dari data hasil pengujian impak dapat dilihat nilai kekuatan impak tertinggi ada pada komposit yang bervariasi panjang serat 15 mm dengan kekuatan impak 8.247 kJ/m². sedangkan nilai kekuatan impak terendah ada pada komposit yang bervariasi 5 mm dengan kekuatan impak 4.228 kJ/m², sedangkan

komposit variasi panjang serat 10 mm memiliki kekuatan impak 6.228 kJ/m². Dari ketiga variasi komposit yang diuji impak, semuanya memiliki kekuatan impak yang lebih baik daripada kekuatan impak papan partikel yang ada di pasaran yang hanya memiliki kekuatan impak 3.201 kJ/m².



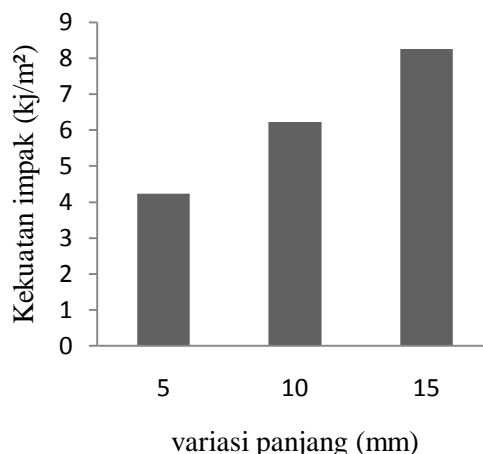
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Dari data di atas panjang serat mempengaruhi kekuatan impak, semakin panjang serat semakin besar nilai impaknya. Hal ini disebabkan serat dan bahan penyusun lainnya terdistribusi merata, sehingga penyerapan energi pada komposit saat diberi pembebanan uji impak mampu menyerap energy dengan baik. Selain itu juga titik

konsentrasi komposit pada hantaman yang terkena uji impak memiliki ikatan matriks dengan *rainforce* dengan baik. Selain itu juga nilai densitas dan uji kekuatan mekanik lainnya menunjukkan semakin panjang serat semakin baik juga nilai densitas dan kekuatannya.



Gambar 6. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap kekuatan impak

3.6 Pengujian Bending

Pengujian bending yang dilakukan dengan metode *3 point bending* (ASTM D 790). Benda uji berukuran panjang 100 mm, lebar 14 mm dan tebal 4 mm mendapat tekanan dibagian tengah oleh alat uji bending dengan

kecepatan 2.64 mm/min kearah bawah benda uji. Pengujian diambil dengan posisi horizontal dengan kedua sisinya diberi penyangga dan diberi pembebanan pada bagian tengahnya. Hasil pengujian bending dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5.Data pengujian bending

No	Kode komposit	Panjang serat (mm)	<i>max force</i> (N)	<i>Elastic limit</i> (N/mm ²)
1	A	5 mm	29.248	569.947
2	B	10 mm	35.008	821.819
3	C	15 mm	41.904	904.745
7	Papan partikel di pasaran	-	16.968	667.293

Dari data hasil pengujian bending dapat dilihat pengaruh variasi panjang serat terhadap nilai *maximumforce* dan batas elastisitasnya. Pada komposit A nilai *maximal force* dan batas elastisitasnya terendah

dengan 29.248 N dan 569.947 N/mm². Sedangkan nilai *maximum force* dan batas elastisitas tertinggi pada komposit C dengan 41.904 N dan 904.745 N/mm². Dengan demikian semakin panjang serat maka



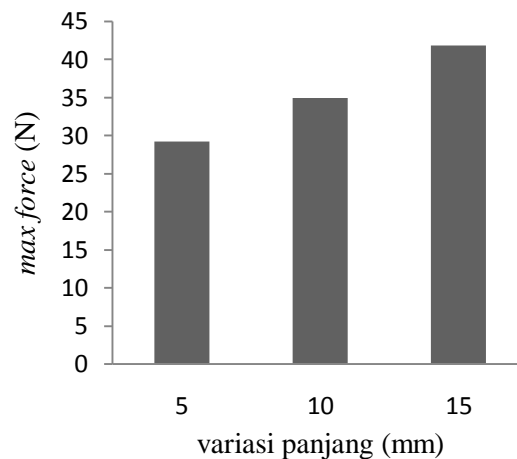
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

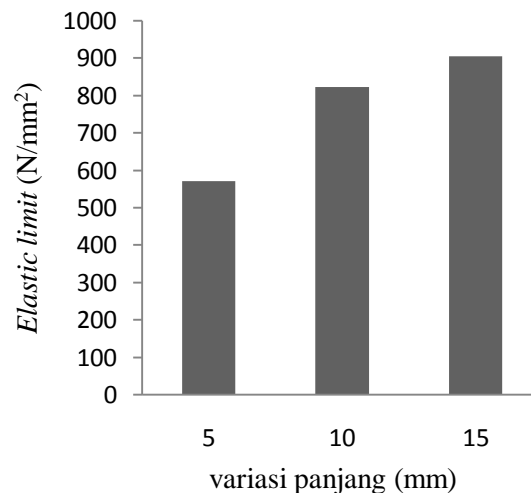
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

semakin tinggi nilai *maximum force* dan batas elastisitasnya, atau panjang serat berbanding lurus dengan nilai *maximum force* dan batas elastic. Hal ini disebabkan oleh titik konsentrasi tegangan pada campuran komposit yang merata. Sehingga kekuatan serat terdistribusi dengan baik pada titik konsentrasi tegangan saat pengujian uji bending. Ketiga variasi diatas (5, 10, 15 mm) nilai *maximum force* dan batas elastisitasnya

lebih baik dibandingkan dengan nilai *maximum force* dan batas elastisitas papan partikel yang ada dipasaran. Nilai *maximum force* dan batas elastisitas papan partikel yang ada dipasaran hanya 16.968 N dan 667.293 N/mm². Pengaruh panjang serat terhadap pengujian bending untuk nilai *maximum force* dan batas elastisitas dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap *maximum force* dan batas elastisitas



Gambar 8. Grafik pengaruh variasi panjang serat terhadap *maximum force* dan batas elastisitas

3.6 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bahan komposit dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 50x. Bahan

komposit tersusun oleh serbuk kayu sengon, serat tandan kelapa sawit, lem *fox* dan resin *epoxy*. Pembuatan bahan komposit dilakukan dengan variasi panjang serat 5 mm, 10 mm,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

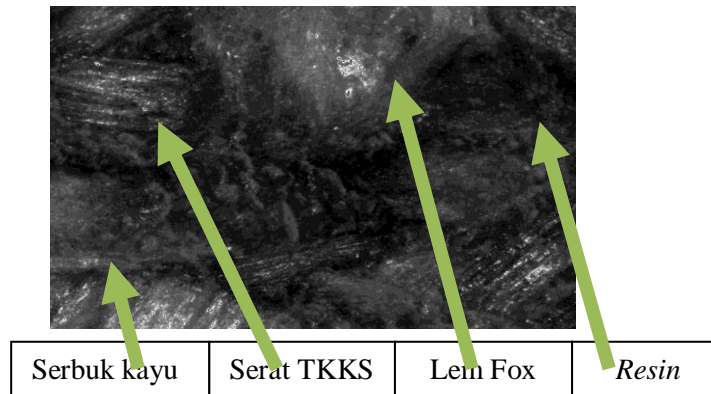
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

15 mm, dan ditekan pada cetakan dengan tekanan 300 kg/cm². Foto mikro bahan komposit dapat dilihat pada Gambar 4.9

Dari hasil pengamatan struktur mikro, pada semua variasi struktur komposit tidak terlihat porositas. Walaupun sebenarnya hampir tidak mungkin tidak adanya porositas pada struktur komposit. Hal ini disebabkan

adanya udara yang terjebak didalam komposit yang menimbulkan porositas. Pada gambar foto mikro resin epoksi terlihat berwarna hitam pekat, lem fox terlihat berwarna putih yang menggumpal, serbuk kayu sengon (*filler*) berwarna putih buram atau keabu-abuan, sedangkan serat tandan kelapa sawit berwarna putih yang mengkilap.



Gambar 4.9 Hasil uji struktur mikro

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Pada penelitian pemanfaatan limbah tandan kelapa sawit sebagai papan komposit variasi panjang serat didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Serat tandan kelapa sawit ini dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan papan komposit untuk pengaplikasian *furniture*.
- Semakin panjang serat TKKS, maka nilai densitas, kekerasan, impak, *maximum force* dan batas limitnya semakin tinggi dan berbanding terbalik pada pengembangan tebal yang semakin panjang serat semakin rendah persentasenya
- Variasi terbaik pada variasi panjang serat 15 mm dengan nilai densitas 0.973 g/cm³, nilai pengembangan tebal 1.025%, nilai kekerasan 26 N/mm², nilai *max force* 41.904 N, nilai batas elastisitas 904, 745N/mm², dan nilai impak 8.247 kJ/m². Semua nilai pengujian diatas lebih baik daripada papan partikel yang ada di pasaran.

4.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

- Untuk penelitian komposit polimer berikutnya disarankan menggunakan mesin *hot press* untuk mencetak sehingga holding time yang lebih cepat.
- Untuk poses *mixing* atau pencampuran agar dilakukan diruang vakum agar udara tidak terjebak didalam dan penyusunan bahan agar dapat merat dengan baik.
- Cetakan dibuat tidak berbentuk sudut agar menghindari kebocoran saat proses kompaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Gibson R.F., 1994, *Principles Of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill Book Co New York.
- Groover P., 2007, "*Fundamentals of Modern Manufacturing*", Second edition. John Wiley & Sons.
- Haryo W., 2012, *Pengaruh Penambahan Carbon Nanotube Pada Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa*

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

- Sawit Dengan Resin Epoxy, Depok: Universitas Indonesia. (Kekuatan Bending), Makasar: Universitas Hasannudin.
- Siti A., 2009, *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Komposit Untuk Meubel*, Jakarta: Balai Besar Kimia Dan Kemasan. Lusita W., 2013, *Pengaruh Waktu Pengempaan Dan Variasi Komposisi Paduan Papan Partikel Dengan Menggunakan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Perekat Urea Formaldehyde 1001 Terhadap Nilai Impak*, Padang: Universitas Andalas.
- SNI Handbook ICS 79.060.20, 2004, *Standar Nasional Indonesia 03-2105-2006 Papan Partikel*.
- Rafiuddin S., 2012, *Analisis Sifat Mekanis Tenunan Serat Rami Jenis Basket Tipe S 3/12 Dengan Matriks Epoksi Resin* Widayani, 2013, *Pembuatan Komposit Papan Serat Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Karakterisasi Sifat Fisis Dan Mekanisnya*, Bandung.



SINTETIS HIDROGEL POLIVINIL ALKOHOL (PVA)-GELATIN DENGAN TEKNIK IRRADIASI SINAR GAMMA (Y)

Dhena Ria Barleany^{1*}, Sita Kurniaty Ratoko¹, Setya Hadi¹, Erizal²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon, Banten

² Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, Batan,

Jl. Lebak bulus Raya no.49. Jakarta

*Email : dbarleany@yahoo.com

Abstrak

Hidrogel adalah merupakan salah satu kelas material polimer yang dapat menyerap air dalam jumlah yang sangat banyak tanpa melarut ke dalamnya. Pembuatan hidrogel telah banyak dilakukan dari beberapa material, diantaranya dari bahan polivinil alkohol (PVA) dan gelatin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan produk hidrogel hasil irradiasi sinar gamma (Y) dari PVA dan gelatin, mendapatkan komposisi dan dosis irradiasi yang optimum dalam uji fraksi gel dan rasio penyerapan air (*swelling*). Hidrogel PVA-gelatin dibuat dengan variasi rasio komposisi antara larutan PVA dan larutan gelatin yaitu 25/75; 50/50; dan 75/25 (volume PVA/volume gelatin), serta variasi dosis radiasi 20, 30, 40, dan 50 kGy. Produk hidrogel yang diperoleh kemudian dilakukan analisa fraksi gel, *swelling*, serta gugus fungsi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk hidrogel dengan sifat fisik baik diperoleh pada dosis radiasi mulai 40 kGy. Fraksi gel tertinggi sebesar 92,674% dan *swelling* terbesar 300% diperoleh pada penggunaan rasio PVA/gelatin 75/25 (v/v) dan dosis 50 kGy. Hasil analisa gugus fungsi menunjukkan adanya perubahan intensitas sesudah radiasi pada 1475 cm⁻¹ yang diperkirakan sebagai letak ikatan antara PVA dengan gelatin.

Kata kunci: hidrogel, gelatin, polivinil alkohol (PVA)

1. PENDAHULUAN

Hidrogel merupakan salah satu material polimer yang dapat menyerap air dalam jumlah yang sangat banyak tanpa melarut ke dalamnya, karena rantai polimer hidrofilik yang mengalami ikatan silang secara fisika atau kimia. Hidrogel dapat disintesis dari monomer, prepolimer, atau polimer hidrofilik yang sudah ada (Schacht, 2004). Hidrogel sebagai biomaterial telah banyak diusulkan untuk aplikasi biomedis yang sangat luas, termasuk dalam sistem penghantaran obat (*drug delivery*) (Peppas et al., 1999; Zhou et al., 2008), lensa kontak (Kita et al., 1990), *cartilage* (Stammen, et al., 2001), tulang (Baker et al., 2012) dan teknologi jaringan (Weng, et al., 2008).

Polivinil Alkohol (PVA) merupakan polimer hidrofilik yang memiliki sifat biokompatibilitas sangat baik sehingga sesuai untuk aplikasi bidang obat-obatan. Hidrogel berbasis PVA juga dapat diaplikasikan untuk sistem pembalut luka (*wound healing*), karena memiliki sifat-sifat istimewa antara lain steril, tidak beracun, biokompatibel, transparan (memudahkan kontrol penyembuhan luka), dan yang paling penting adalah kemampuannya dalam menyerap air secara efektif (Stasko, et al., 2009). Dalam berbagai penelitian, PVA dikombinasikan dengan material lain untuk membentuk karakteristik produk sesuai aplikasinya. Dutta (2012) melakukan sintesis dan karakterisasi terhadap hidrogel dari campuran PVA, poli (etilen glikol (PEG), dan kalsium klorida (CaCl₂) dengan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

teknik iradiasi menggunakan sinar gamma yang menghasilkan gel transparan dan sesuai untuk penyembuhan luka.

Gelatin dapat membentuk hidrogel melalui pendinginan dari larutan *aqueous*. Pembentukan gel terjadi karena adanya pembentukan *helix*, dan *helix* berasosiasi membentuk zona-zona *junction*. Hidrogel yang berikatan silang secara fisika ini memiliki sifat transisi sol-gel terhadap temperatur. Ikatan silang secara permanen dapat dicapai dengan adanya penambahan bahan kimia sebagai pengikat silang. Hidrogel berbasis gelatin juga banyak dimanfaatkan dalam aplikasi perawatan luka. Gel gelatin telah dilakukan tes secara *in vitro* dan *in vivo* terhadap biokompatibilitasnya serta telah diujicobakan untuk perawatan luka terhadap model babi. Dalam uji coba tersebut menunjukkan bahwa gel gelatin membantu pembentukan epitelia yang cepat dan perbaikan luka (*wound repair*) yang baik (Schacht, 2004). Gelatin merupakan biomaterial yang bersifat alami, sehingga masih memiliki keterbatasan dalam hal pembentukan ikatan silang dan kemampuannya dalam penyerapan air jika dibandingkan dengan material sintesis. Penggabungan antara PVA dengan gelatin diharapkan dapat menghasilkan biomaterial yang berkualitas baik dan lebih bersifat biokompatibel.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan produk hidrogel hasil iradiasi sinar gamma (γ) dari PVA dan gelatin, mendapatkan komposisi dan dosis radiasi yang optimum dalam uji fraksi gel serta rasio penyerapan air. Teknik iradiasi sinar γ digunakan karena prosesnya mudah, steril, dan tidak meninggalkan residu kimia dalam produk hidrogel (Al-qudah, 2012; Dutta, 2012).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui 3 tahap, yaitu tahap pendahuluan, tahap percobaan utama, dan tahap karakterisasi. Tahap pendahuluan merupakan pembuatan larutan gelatin dari sisik ikan dan larutan PVA, dilanjutkan dengan tahap percobaan utama yaitu pembentukan hidrogel dengan teknik iradiasi sinar γ . Tahap karakterisasi merupakan pengujian produk hidrogel berupa analisa fraksi gel dan kapasitas penyerapan air.

2.1. Pembuatan Gelatin

Sisik ikan kakap dibersihkan dan ditimbang sebanyak 100 gram kemudian direndam dalam 1000 mL larutan asam asetat 3%, lalu dimasukkan ke dalam autoklaf (121°C, 45 menit). Padatan berupa sisik ikan dan filtrat berupa cairannya kemudian dipisahkan. Sisik ikan dikeringkan sedangkan filtrat diletakkan dalam wadah dan didiamkan pada temperatur ruang selama 24 jam untuk menguapkan airnya. Filtrat yang sudah teruapkan airnya disebut gelatin. Gelatin kemudian disaring untuk memisahkan pengotor-pengotornya.

2.2. Pembuatan larutan PVA

Serbuk PVA sebanyak 50 gram dilarutkan dalam aquades dan dimasukkan ke dalam autoklaf (121°C, 45 menit). Larutan PVA kemudian diaduk agar tidak menggumpal.

2.3. Sintesis Hidrogel

Larutan gelatin dan larutan PVA dicampur dengan rasio yang divariasikan kemudian ditempatkan dalam plastik khusus dan diradiasi dengan variasi dosis 20, 30, 40, dan 50 kGy. Produk hidrogel yang diperoleh kemudian dikarakterisasi untuk mendapatkan nilai fraksi gel dan menguji kemampuan gel dalam penyerapan air.

2.4. Uji Fraksi Gel

Hidrogel hasil iradiasi kemudian dipotong dengan ukuran 2x2x2 cm, dikeringkan dalam oven 60°C dan ditimbang sebagai berat awal (W_0). Hidrogel kering dikemas dalam kawat kasa *stainless steel* ukuran lubang 300 mesh, kemudian direndam dalam air suling dan digoyangkan dalam *shaker bath* dengan kecepatan 100 rpm selama 3x 24 jam. Hidrogel lalu dikeluarkan, dikeringkan pada suhu 60°C dan ditimbang sebagai berat akhir (W_1). Fraksi gel lalu dihitung menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\text{Fraksi gel} = \frac{W_1}{W_0} \quad (1)$$

2.5. Uji Kapasitas Penyerapan Air (*Swelling*)

Hidrogel PVA-gelatin hasil iradiasi dipotong dengan ukuran 2x2x2 cm dan ditimbang beratnya sebagai W_0 . Hidrogel direndam dalam air suling, lalu setiap selang waktu 30, 60, 90, dan 120 menit dikeluarkan dari bejana perendaman. Air yang masih



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

terdapat pada permukaan hidrogel basah disaring dengan kertas saring kemudian ditimbang sebagai W_1 . Banyaknya air yang terserap ke dalam hidrogel pada setiap waktu dan variasi dosis radiasi dihitung menggunakan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Penyerapan Air (swelling)} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \quad (2)$$

2.6. Variabel Penelitian

Penelitian ini dijalankan dengan variabel berubah rasio antara larutan PVA/larutan gelatin yaitu 25/75; 50/50; dan 75/25. Dosis

irradiasi juga divariasikan pada 20, 30, 40, dan 50 kGy. Kondisi yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah konsentrasi larutan gelatin dan larutan PVA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penampilan Fisik Produk Hidrogel

Setelah tahap irradiasi sinar γ , produk dianalisa secara visual untuk membedakan pengaruh variabel percobaan terhadap penampilan fisik gel. Berikut ini adalah hasil pengamatan visual terhadap produk-produk hidrogel PVA-gelatin (Tabel 1).

Tabel 1. Penampilan Fisik Hidrogel PVA-gelatin Hasil Irradiasi sinar γ

Rasio PVA:gelatin (v/v)	Dosis Irradiasi, kGy			
	20	30	40	50
100:0	gel	gel	gel	gel
75:25	gel	gel	gel	gel
50:50	cair	gel	gel	gel
25:75	cair	cair	cair	gel
0:100	cair	cair	gel	gel

Dari Tabel 1 terlihat bahwa untuk merubah gelatin dari fase cair menjadi fase gel membutuhkan dosis irradiasi yang relatif tinggi yaitu minimal 40 kGy, jika dibandingkan dengan PVA yang hanya membutuhkan dosis irradiasi sebesar 20 kGy untuk merubah fase cair menjadi bentuk gelnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa PVA memiliki kepekaan lebih tinggi terhadap irradiasi γ dibandingkan gelatin. Fakta ini ternyata juga mempengaruhi kepekaan pada campuran PVA-gelatin, dimana peningkatan konsentrasi larutan PVA di dalam campuran PVA-gelatin dapat meningkatkan kepekaan terhadap irradiasi γ . Hal ini dibuktikan dengan didapatkannya bentuk gel dengan dosis yang lebih rendah pada komposisi PVA:gelatin 75:25 dibandingkan dengan PVA:gelatin 50:50 dan 25:75. Gelatin merupakan biomaterial yang bersifat alami

(*natural*) dan tersusun dari asam-asam amino, sehingga dimungkinkan terjadi degradasi saat proses irradiasi menggunakan sinar γ .

3.2. Spektrofotometer UV-Visible

Gelatin merupakan derivat dari kolagen (Agrawal et al., 2014) yang berbentuk polimer dengan rantai molekul asam-asam amino yang di dalam struktur molekulnya didominasi oleh gugus-gugus amina (NH_2). Pada umumnya Spektrofotometer UV-Vis merupakan salah satu instrumen yang dalam pengujian kolagen dan gelatin dapat dengan mudah mendeteksi adanya gugus amin tersebut dengan puncak yang khas.

Pada penelitian ini, absorbansi gelatin dievaluasi dengan perubahan dosis irradiasi, dan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Efek Irradiasi terhadap Bilangan Gelombang Gelatin

No.	Dosis (kGy)	Bilangan gelombang (nm)
1	0	246-250
2	20	250-292
3	30	250-292
4	40	250-300

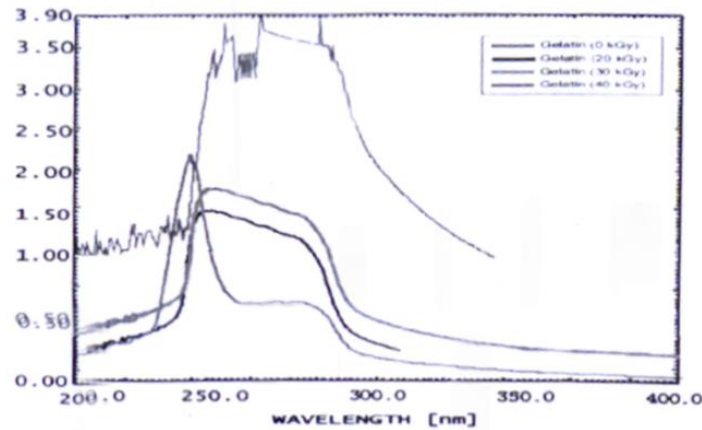


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Dari Tabel 2 terlihat bahwa dengan peningkatan dosis irradiasi hingga 30 kGy, absorbansi gelatin meningkat dari 246-250 nm menjadi 250-292 nm. Spektrum UV-Vis gelatin ditunjukkan pada Gambar 1.



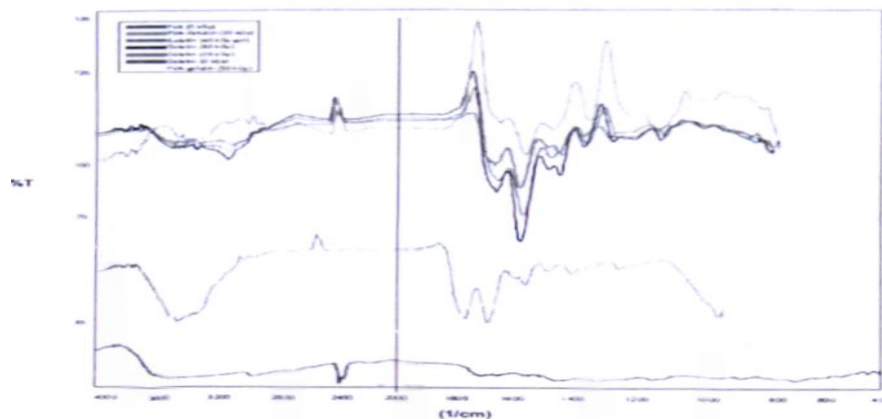
Gambar 1. Spektrum UV-Vis gelatin

Pada Gambar 1, terlihat bahwa perubahan absorbansi yang terjadi disertai dengan perubahan bentuk puncaknya dari bentuk runcing dan tajam menjadi bentuk puncak yang mendatar. Pada dosis 40 kGy, bilangan gelombang meningkat menjadi 250-300 dan disertai perubahan bentuk dari cair menjadi gel. Peningkatan dosis irradiasi diduga kuat menyebabkan ikatan silang dalam larutan gelatin meningkat sehingga larutan

menjadi semakin pekat (ditandai peningkatan absorbansi).

3.3. Uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Uji gugus fungsi dari hidrogel dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya ikatan silang yang terbentuk selama proses irradiasi. Hasil perbedaan dari gugus fungsi gelatin, PVA, dan hidrogel PVA-gelatin ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum IR PVA-gelatin

Spektrum hidrogel PVA dicirikan dengan gugus fungsi OH, -CH, yang secara berturut-turut terletak pada daerah bilangan gelombang 3300-3600, 3010-3095 cm^{-1} . Spektrum gelatin dicirikan dengan gugus

fungsi C=O, OH, NH yang berturut-turut terletak pada daerah bilangan gelombang 1600-1820, 3300-3600, 3100-3500 cm^{-1} .

Hasil spektrum infra merah pada Gambar 2 menunjukkan puncak gelatin berada pada



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

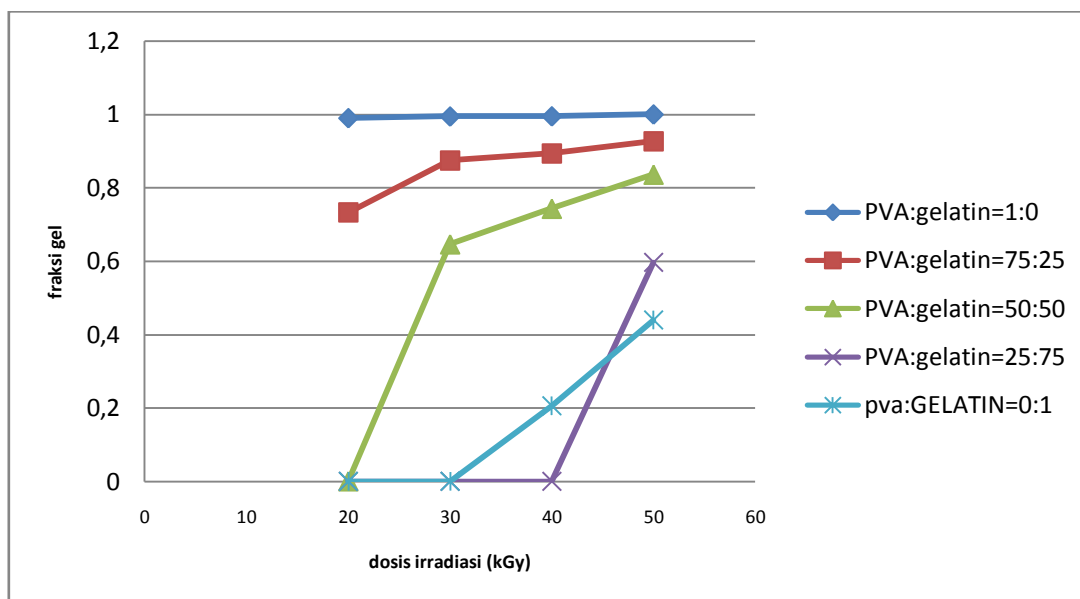
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

kisaran 1626 cm^{-1} dan pada PVA terletak pada kisaran 2400 cm^{-1} . Hidrogel dari campuran PVA-gelatin berada pada 1875 cm^{-1} , menandakan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara gelatin dan PVA-gelatin.

3.4. Hasil Uji Fraksi Gel

Fraksi gel merupakan salah satu parameter yang secara umum digunakan

dalam sintesis hidrogel, mencerminkan fraksi dari bahan-bahan awal (monomer/polimer) yang berubah menjadi gel pada proses sintesis. Fraksi gel juga menunjukkan kerapatan ikatan silang yang terbentuk dalam hidrogel. Pengujian fraksi gel dilakukan dengan pengambilan sampel data sebanyak 3 kali pengulangan (triplo), dan pada Gambar 3 ditunjukkan nilai fraksi gel rata-rata dari ketiga data tersebut.



Gambar 3. Pengaruh Dosis Irradiasi dan Rasio PVA/Gelatin terhadap Fraksi Gel dari Produk Hidrogel

Dari Gambar 3 terlihat bahwa fraksi gel dari produk hidrogel yang diperoleh meningkat dengan bertambahnya dosis irradiasi. Hasil uji tertinggi terhadap hidrogel PVA-gelatin diperoleh pada campuran bahan baku menggunakan rasio PVA:gelatin sebanyak 75:25(v/v), dengan nilai fraksi gel pada dosis 50 kGy sebesar 0,93. Pada penelitian ini juga diperoleh nilai fraksi gel yang semakin menurun jika konsentrasi PVA di dalam campuran PVA-gelatin diturunkan.

3.5. Hasil Uji Kapasitas Penyerapan Air (*Swelling*)

Nilai *swelling* merupakan parameter utama dalam karakterisasi produk hidrogel

terutama untuk aplikasi perawatan luka. Hidrogel ini harus mampu merawat luka dengan tingkat pendarahan medium hingga kronis, sehingga kemampuan gel dalam penyerapan air sangat memegang peranan penting (Dutta, 2012). Hasil uji nilai *swelling* hidrogel PVA-gelatin ditunjukkan pada Gambar 4.

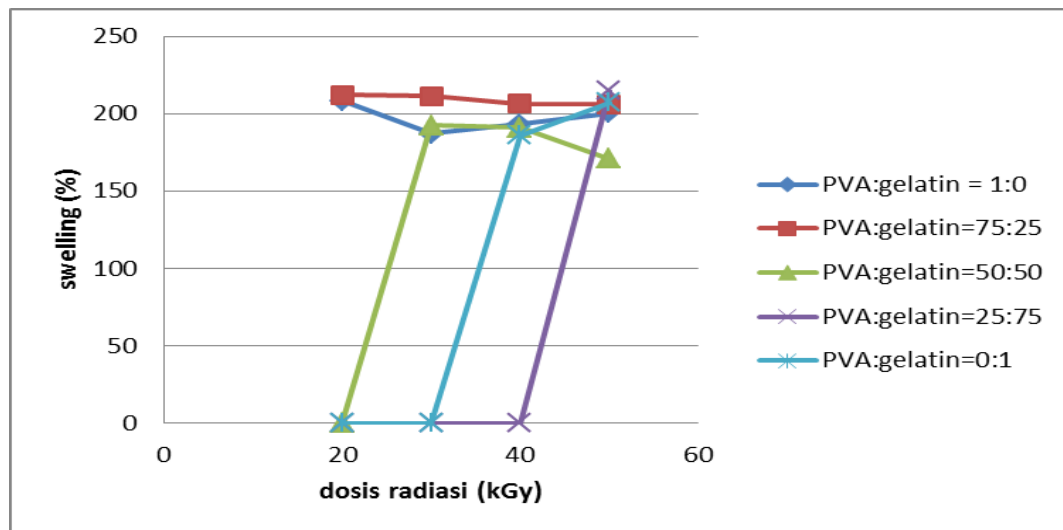
Nilai *swelling* dari produk hidrogel yang terbentuk berkisar antara 171 sampai 215 gram air/gram hidrogel kering. Nilai *swelling* 0 pada beberapa produk menunjukkan bahwa produk-produk tersebut secara fisik berbentuk cair sehingga tidak memiliki jaringan-jaringan untuk menangkap air.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 4. Pengaruh Dosis Irradiasi dan Rasio PVA/Gelatin terhadap *Swelling* dari Produk Hidrogel

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada dosis irradiasi 50 kGy, nilai *swelling* hidrogel tidak banyak perbedaan jika dibandingkan antara variasi rasio PVA:gelatin. *Swelling* tertinggi sebesar 215 gram air/gram hidrogel kering diperoleh pada produk hidrogel dengan rasio bahan 75:25 (PVA:gelatin) dan dosis irradiasi 50 kGy.

4. SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa produk hidrogel dapat diperoleh dari hasil blend PVA dan gelatin dengan teknik irradiasi sinar gamma. Produk hidrogel blend PVA-gelatin dengan fraksi gel tertinggi sebesar 0,93 dan *swelling* tertinggi 215% diperoleh pada rasio PVA:gelatin 75:25 (v/v) dan dosis radiasi 50 kGy.

5. DAFTAR PUSTAKA

Agrawal, C.M., Ong, J.L., Appleford, M.R., Mani, G., Introduction to Biomaterials-Basic Theory with Engineering Applications, Cambridge University Press, 2014, p. 199
Al-qudah, Y.H.F., Swelling and Drug Release Properties of Starch Based CopolymerHydrogel Prepared by Ionizing radiation, arab Journal of Nuclear Science and Application, 2012, 45(2), 179-185
Baker, M.I., Walsh, S.P., Schwartz, Z., Boyan, B.D., A Review of polyvinyl alcohol and its

Uses in Cartilage and Orthopedic Applications, Society for Biomaterials, Wiley Online Library, 2012, DOI: 10.1002/jbm.b.32694

Dutta, J., Synthesis and Characterization of γ -Irradiated PVA/PEG/CaCl₂ Hydrogel for Wound Dressing, American Journal of Chemistry, 2012, 2 (2): 6-11

Kita, M., Ogura Y., Honda, Y., Hyon, S.H., Cha, W.II., Ikada, Y., Evaluation of Polivinil Alcohol Hydrogel as a Soft Contact Lens material, Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1990, 228: 533-537

Peppas, N.A., Keys, K.B., Torres-Lugo, M., Lowman, A.M., Poly(ethylene glycol)-containing hydrogels in drug delivery, Journal Controlled Release, 1999, 62 (1-2): 81-7

Schacht, E.H., Polymer Chemistry and Hydrogel system, Journal of Physics: Conference Series 3, 2004, 22-28

Stammen, J.A., Williams, S., Ku, D.N., Guldberg, R.E., Mechanical Properties of a Novel PVA Hydrogel in Shear and Unconfined Compression, Biomaterials, 2001, 22: 799-806

Stasko, J., Kalniņš, M., Dzene, A., Tupureina, V., Poly (vinyl alcohol) Hydrogels, Proceedings of Estonian Academy of Sciences, 2009, 58, 1, 63-66

**Seminar Nasional Intergrasi Proses**

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

Weng, L., Romanov, A., Rooney, J., Chen, W.,
Non-cytotoxic, in situ gelable hydrogels
composed of N-carboxyethyl Chitosan and
Oxydized Dextran, *Biomaterials*, 2008, 29,
3905-3913

Zhou, H.Y., Chen, X.G., Kong, M., Liu, C.S., Cha,
D.S., Kennedy, J.F., Effect of Molecular

Weight and Degree of Chitosan
Deacetylation on The Preparation and
Characteristics of Chitosan
Thermosensitive Hydrogel as a Delivery
System, *Carbohydrate Polymer*, 2008, 73,
265-273



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

HIDROLISIS SAMPAH ORGANIK TAMAN MENGGUNAKAN ASAM SULFAT ENCER

Nadiem Anwar^{1*}, Ate Romli¹, Sukrido²

¹ Jurusan Tekni Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi

² Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi

*Email: nadiemanwar20@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi berbagai jenis daun-daunan untuk dijadikan bahan baku biofuel seperti bioetanol ataupun biohidrogen. Pada penelitian ini dipilih daun mahoni, daun nangka, daun mangga dan daun sirsak sebagai bahan kajian. Daun dipotong-potong sampai ± 1 cm, dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian digiling dan diayak untuk memperoleh ukuran tertentu. Sebelum dihidrolisis, partikel daun dengan ukuran 0,125 – 1,0 mm diberi perlakuan awal selama 2 jam pada suhu 85 °C menggunakan larutan NaOH 2%. Hidrolisis dilakukan dalam reaktor tertutup yang dilengkapi termostat pada suhu 150 °C selama 90 menit menggunakan asam sulfat 1%. Hidrolisat kemudian disaring dan gula reduksi yang dihasilkan dianalisa menggunakan metoda Somogyi-Nelson. Hasilnya menunjukkan bahwa daun-daunan yang dikaji berpotensi untuk dijadikan bahan baku biofuel. Perlakuan awal menggunakan NaOH dapat meningkatkan perolehan gula reduksi lebih dari empat kalinya.

Kata kunci: daun-daunan, hidrolisis, gula reduksi.

Abstract

The objective of this research is to investigate the prospect of leaves to be used as biofuel feedstock such as bioethanol or biohydrogen. In this research was selected mahogany, jackfruit, mango and soursoop leaves as samples. Leaves was chopped to ± 1 cm length, dried, ground and then sieved to obtain a certain size. Before hydrolysis, leave particles pretreated at 85°C for two hours by using 2% NaOH. Hydrolysis was conducted in closed reactor equipped by thermostat for 90 minutes at 150 °C by using 1% sulphuric acid as catalyst. The reducing sugar in filtered hydrolysate was analyzed using Somogyi-Nelson method. The result shows that the sample leaves potentially to use as biofuels feedstock. Pretreatment using NaOH increases reducing sugar recovery of more than 4 fold.

Keyword: leaves, hydrolysis, reducing sugar.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi serta menurunnya produksi minyak mentah khususnya di Indonesia telah mengakibatkan tingginya harga minyak tersebut. Penggunaan bahan bakar fosil juga telah meningkatkan akumulasi CO₂ di atmosfer sehingga makin memicu pemanasan global, oleh karena itu perlu dicari alternatif bahan bakar yang ketersediaannya memadai, terbarukan dan

ramah lingkungan salah satunya adalah energy berbasis biomassa.

Indonesia sebagai negara tropis menghasilkan biomassa dalam jumlah yang besar yaitu sekitar 3,9 milyar ton biomassa kering pertahun yang merupakan limbah pertanian, perkebunan, hasil hutan (Pratiwi, 1996). Pada penelitian sebelumnya telah melakukan hidrolisis jerami padi menggunakan enzim murni maupun



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

campuran enzim kasar (Anwar dkk., 2010). Hasilnya menunjukkan bahwa pada hidrolisis secara batch selama tujuh jam menggunakan campuran enzim kasar dari *Aspergillus niger* dan *Trichoderma reesei* menghasilkan peningkatan perolehan gula reduksi yang signifikan dibandingkan dengan menggunakan enzim komersial, akan tetapi waktu yang diperlukan masih terlalu lama. Hal ini akan menjadi kendala jika akan dilakukan produksi dalam jumlah besar. Hidrolisis jerami padi juga telah dilakukan sebelumnya menggunakan asam sulfat encer (Anwar dkk., 2013). Untuk menghasilkan gula reduksi dengan konsentrasi yang sama, hidrolisis menggunakan asam sulfat encer lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan campuran enzim selulase kasar. Hidrolisis jerami padi yang dihasilkan dari hidrolisis enzimatik dapat difermentasi menjadi hidrogen (Anwar dkk., 2012) dan hidrolisis jerami padi dari hidrolisis menggunakan asam sulfat encer dapat difermentasi menjadi etanol (Anwar dkk., 2014).

Biomassa lain yang jumlahnya cukup besar adalah limbah tanaman yang berasal dari taman-taman di perkotaan yaitu guguran daun dari pohon penghias taman atau daun-daunan dari peneduh jalan raya maupun tanaman pelindung di pinggir jalan tol antar kota. Daun-daunan tersebut mengandung 15 - 20% selulosa dan 80 - 85% hemiselulosa (Sun dan Cheng, 2002) yang dapat dihidrolisis menghasilkan terutama glukosa dan xilosa yang selanjutnya dapat digunakan juga untuk menghasilkan biofuel. Pemanfaatan daun-daunan sebagai bahan baku biofuel masih jarang dilakukan, oleh karena itu pada penelitian ini dipelajari kemungkinan pemanfaatan sampah organik taman khususnya daun-daunan sebagai bahan baku biofuel. Sebagai langkah awal, pada penelitian ini dilakukan hidrolisis daun mahoni yang banyak ditanam sebagai peneduh jalan, daun mangga, daun dan daun sirsak yang buahnya digemari banyak masyarakat sehingga potensinya cukup besar. Secara khusus pada penelitian ini dipelajari pengaruh

ukuran partikel daun, pengaruh perlakuan awal menggunakan NaOH terhadap daun.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa merupakan bahan yang diperoleh dari tanaman. Kegiatan pertanian dan hutan merupakan sumber utama biomassa. Lahan pertanian yang meliputi sawah, tanaman dataran tinggi dan perkebunan. Tanaman dataran tinggi dengan luas 9.008.000 ha menghasilkan jagung, kedelai, kacang tanah dan beberapa jenis sayuran dengan total produk biomassa 18 ton per ha per tahun (Murniati, 2004). Perkebunan dengan luas 9.917.000 ha menghasilkan biomassa sekitar 110 ton per ha per tahun sedangkan tanaman hutan menghasilkan biomassa kering 23 ton per ha per tahun IOPRI (2004) sehingga total produksi biomassa Indonesia diperkirakan 3,9 milyar ton biomassa kering per tahun. Secara umum, biomassa tersusun oleh selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan komposisi bervariasi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Selulosa adalah polimer glukosa dengan ikatan β -1,4 glukosida dalam rantai lurus. Ikatan β -1,4 glukosida pada serat selulosa dapat dipecah sehingga menghasilkan monomer glukosa dengan cara hidrolisis asam atau enzimatik. Kandungan selulosa pada dinding sel tanaman tingkat tinggi berkisar antara 35-50% dari berat kering tanaman (Lynd dkk., 2002), yang 50-90% nya membentuk kristal dan sisanya amorf (Aziz dkk., 2002).

Lignin adalah polimer yang terbentuk melalui unit-unit penilpropan (Sjorberg, 2003) yang terikat dengan jenis ikatan yang berbeda (Perez dkk., 2002). Lignin membentuk ikatan yang kuat dengan polisakarida dan melindungi polisakarida dari degradasi mikroba. Lignin berfungsi mengeraskan mikrofibril selulosa dan berikatan secara fisik maupun kimia dengan hemiselulosa. Lignin dapat dipisahkan dari



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

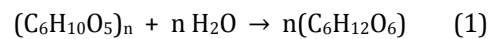
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

selulosa dan hemiselulosa menggunakan NaOH encer.

Hemiselulosa merupakan kelompok polisakarida heterogen dengan berat molekul rendah. Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis dengan asam menjadi monomer yang mengandung glukosa, mannanosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa. Hemiselulosa mengikat lembaran serat selulosa membentuk mikrofibril yang meningkatkan stabilitas dinding sel. Kandungan hemiselulosa biasanya antara 15-30% dari berat kering bahan lignoselulosa (Taherzadeh dkk., 1999).

2.2 Hidrolisis Biomassa

Hidrolisis adalah pemecahan polimer menjadi monomer-monomernya. Hidrolisis biomassa meliputi proses pemecahan polisakarida, yaitu: selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula penyusunnya. Hidrolisis selulosa menghasilkan glukosa, sedangkan hemiselulosa menghasilkan beberapa monomer yaitu glukosa, mannanosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa.



Selulosa Glukosa

Hemiselulosa + n H₂O → glukosa, mannanosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa(2)

Tabel 1. Komposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin beberapa jenis biomassa

Jenis tanaman	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Batang kayu keras	40 - 55	24 - 40	18 - 25
Batang kayu lunak	45 - 50	25 - 35	25 - 35
Kulit kacang	25 - 30	25 - 30	30 - 40
Kertas	85 - 99	0	0 - 15
Rumput-rumputan	25 - 40	35 - 50	10 - 30
Batang gandum	30	50	15
Daun-daunan	15 - 20	80 - 85	0
Rumensia sapi	1,6 - 4,7	1,4 - 3,3	2,7 - 5,7

Secara umum hidrolisis dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu secara enzimatik, kimiawi dan fisika. Hidrolisis fermentative menggunakan *Aspergillus niger* menghasilkan konsentrasi glukosa tertinggi kurang dari 80 mg/dL dengan waktu fermentasi 7 jam (Aderemi dkk., 2008). Hidrolisis enzimatik menggunakan selulase dapat dilangsungkan pada temperatur rendah akan tetapi laju reaksinya lambat (Anwar dkk., 2010). Hidrolisis secara fisik memerlukan suhu yang lebih tinggi. Zhao dkk., (2009) melakukan hidrolisis menggunakan kukus pada 380 °C

menghasilkan konversi tertinggi biomassa sekitar 63% yang dicapai pada waktu reaksi 16 detik.

Hidrolisis asam dapat dilakukan baik menggunakan asam pekat maupun asam encer pada suhu yang relatif tinggi 120-200 °C (Karimi dkk., 2006). Najafpour dkk., (2007) melakukan hidrolisis serat kelapa sawit menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi padatan 5%, ukuran partikel 0,5 mm, dan konsentrasi asam 10% - 30%. Konsentrasi gula meningkat dengan peningkatan konsentrasi asam, konsentrasi gula tertinggi



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

(20 g/L) diperoleh pada saat digunakan konsentrasi asam 30% dan konsentrasi gula terendah (2,7 g/L) diperoleh pada saat digunakan konsentrasi asam 10%. Hidrolisis menggunakan HCl suhu 45°C menghasilkan gula reduksi dengan konsentrasi sekitar 16 g/L sedangkan pada suhu 85°C, konsentrasi gula meningkat sampai 20 g/L. Dengan kata lain semakin tinggi suhu akan meningkatkan konsentrasi gula karena laju reaksi lebih cepat pada suhu tinggi.

Megawati dkk. (2009) melakukan hidrolisis ranting kering dengan volume 1200 cm³ larutan asam sulfat 0,18 N dan dipanaskan menggunakan autoklaf. Hasil hidrolisis pertama diambil pada suhu 140°C dan seterusnya diambil setiap interval 5 menit pada suhu 160°C, 180°C, 200°C dan 220°C. Yield gula yang didapatkan dari penelitian ini sebesar 11,88% pada suhu akhir 220°C. Hidrolisis lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit dengan konsentrasi asam 2-6% menghasilkan gula dengan yield 31,74%. Hidrolisis lignoselulosa dari grajen kayu pinus dengan asam pekat (30%) pada suhu 130°C, dan mendapatkan gula dengan *yield* 50%.

Anwar dkk., (2013) mempelajari pengaruh pengolahan awal kimiawi (delignifikasi) terhadap konsentrasi gula reduksi yang dihasilkan pada hidrolisis jerami yang didelignifikasi maupun yang tidak didelignifikasi. Hidrolisis menggunakan H₂SO₄ 1% pada jerami yang delignifikasi terlebih dahulu menghasilkan gula reduksi lebih dari empat kali lebih besar.

6. METODOLOGI

Pada penelitian ini sampah organik yang digunakan adalah daun mahoni, daun nangka, daun mangga, dan daun sirsak. Daun dipotong-potong sampai ± 1 cm, dikeringkan menggunakan sinar matahari, digiling menggunakan mesin penggiling lalu diayak. Setelah kering, dilakukan analisis kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin dalam daun menggunakan metode Chesson. Untuk mengetahui pengaruh pengolahan awal kimiawi, sebelum hidrolisis dilakukan

perlakuan awal menggunakan NaOH. Hidrolisis dilakukan selama 2 jam pada suhu 150 °C menggunakan asam sulfat 1% dalam reaktor tertutup yang dilengkapi dengan thermostat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Hidrolisat disaring menggunakan kaca masir, kadar glukosanya dianalisa menggunakan metoda Somogy - Nelson.



Gambar 1. Reaktor hidrolisis

7. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Jenis Daun

Tabel 2 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa untuk setiap jenis daun diperoleh konsentrasi gula reduksi yang berbeda, baik untuk daun yang tidak diberi perlakuan awal maupun yang diberi perlakuan awal terlebih dahulu. Konsentrasi gula tertinggi diperoleh dari berturut-turut dari daun sirsak, daun mangga, daun nangka dan terakhir daun mahoni. Hal ini dimungkinkan karena setiap jenis daun memiliki karakteristik yang berbeda seperti yang diperlihatkan Tabel 3. Potensi gula reduksi daun nangka, daun mangga dan daun sirsak hampir sama yaitu 44 - 46% sedangkan untuk daun mahoni hanya 38%. Di antara ketiga jenis daun yang potensi gula reduksinya tinggi, daun sirsak memiliki kandungan lignin dan abu terendah sehingga hambatan untuk kontak antara asam dengan selulosa dan hemiselulosa juga paling rendah dan menghasilkan gula reduksi yang makin tinggi. Sedangkan daun nangka, meskipun potensi gula reduksinya tinggi tetapi kandungan lignin dan abunya paling tinggi pula sehingga hambatan untuk reaksi hidrolisisnya lebih besar.



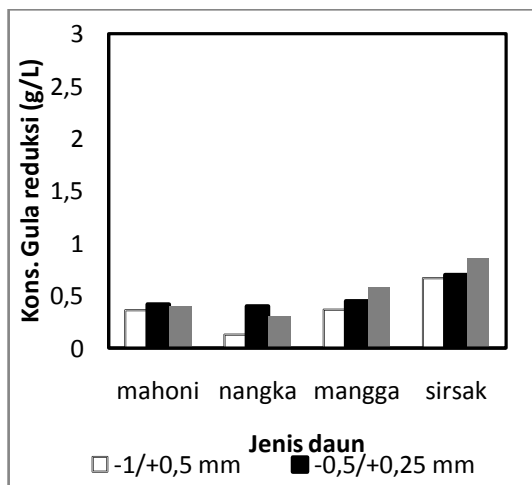
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

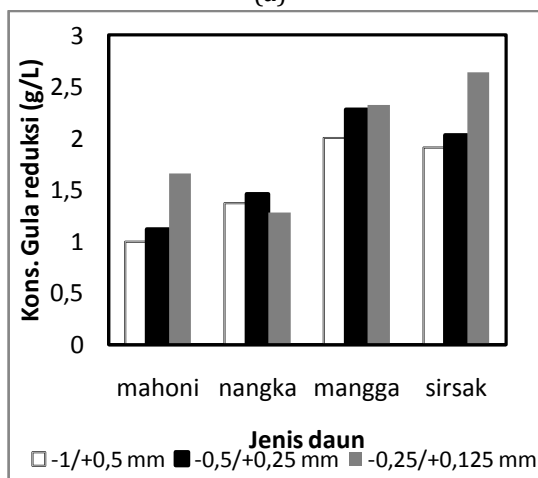
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 2. Gula reduksi yang dihasilkan

Jenis Daun	Ukuran Padatan	Konsentrasi Gula (gr/L)		Yield (%)	
		Delignifikasi	Tanpa Delignifikasi	Delignifikasi	Tanpa Delignifikasi
Mahoni	-1 / +0,5	1,002	0,365	1,434	0,496
	-0,5 / +0,25	1,276	0,419	1,035	0,565
	-0,25 / +0,125	1,663	0,401	2,445	0,516
Nangka	-1 / +0,5	1,367	0,128	2,113	0,160
	-0,5 / +0,25	1,458	0,401	2,115	0,646
	-0,25 / +0,125	1,276	0,310	1,864	0,474
Mangga	-1 / +0,5	2,005	0,374	2,829	0,622
	-0,5 / +0,25	2,278	0,447	3,144	0,476
	-0,25 / +0,125	2,324	0,583	3,674	0,714
Sirsak	-1 / +0,5	1,914	0,674	2,604	0,967
	-0,5 / +0,25	2,027	0,702	3,244	1,174
	-0,25 / +0,125	2,643	0,866	3,544	1,414



(a)



(b)

Gambar 2. Pengaruh ukuran partikel terhadap gula reduksi yang dihasilkan, (a) daun tanpa delignifikasi, (b) daun yang didelignifikasi

Tabel 3. Komposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin contoh daun

Jenis Daun	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin + Abu
Mahoni	17%	21%	23%
Nangka	25%	21%	29%
Mangga	14%	35%	22%
Sirsak	20%	24%	17%

7.1. Pengaruh Ukuran Partikel

Tabel 2 dan Gambar 2 juga menunjukkan bahwa konsentrasi gula reduksi yang dihasilkan makin tinggi untuk ukuran partikel makin kecil. Hal ini dimungkinkan karena makin kecil ukuran partikel, makin besar luas permukaan kontak persatuan beratnya sehingga katalis H_2SO_4 yang kontak dengan padatan makin banyak dan memungkinkan terjadinya reaksi semakin tinggi. Gula reduksi dengan konsentrasi terbesar diperoleh dari hidrolisis sirsak yang didelignifikasi dengan ukuran padatan -0,25 mm/-0,125 mm yaitu 2,6425 g/L. Hasil ini lebih rendah dari gula reduksi yang dihasilkan pada hidrolisis jerami padi yaitu 32 g/L (Anwar dkk., 2013). Hal ini



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dimungkinkan karena potensi gula reduksi pada daun-daunan lebih kecil dibandingkan dengan potensi gula reduksi pada jerami padi.

4.3 Pengaruh Perlakuan Awal Kimiawi

Gambar 2.a dan 2.b berturut-turut adalah hidrolisis daun mahoni, daun nangka, daun mangga, dan daun sirsak yang diberi perlakuan awal lebih besar dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan awal. Hal ini dimungkinkan karena pada daun yang diberi perlakuan awal telah terjadi penurunan kristalinitas selulosanya sehingga mudah dicapai dan didegradasi oleh asam. Konsentrasi gula reduksi yang dihasilkan dari hidrolisis daun yang diberi perlakuan awal (Gambar 2.a) 4,3 kali lebih besar dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan awal terlebih dahulu (Gambar 2.b). Sedangkan konsentrasi gula reduksi yang dihasilkan dari hidrolisis jerami yang didelignifikasi 1,6 kali lebih besar dibandingkan dengan yang tidak didelignifikasi terlebih dahulu (Anwar dkk., 2013). Hal ini menunjukkan bahwa proses perlakuan awal menggunakan NaOH encer yang dilakukan pada temperatur 80°C dengan waktu 2 jam cukup efektif untuk memisahkan lignin ataupun menurunkan kristalinitas selulosa. Pada penelitian ini, daun sirsak yang diberi perlakuan awal dengan ukuran partikel -0,25 mm / +0,125 mm menghasilkan gula reduksi dengan konsentrasi yang paling tinggi yaitu 2,6425 gram/L.

8. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Daun-daunan berpotensi untuk dijadikan bahan baku biofuel.
2. Semakin kecil ukuran partikel menghasilkan gula reduksi dengan konsentrasi semakin besar.
3. Konsentrasi gula reduksi terbesar diperoleh dari hidrolisis sirsak -0,25 mm / +0,125 mm yang didelignifikasi yaitu sebesar 2,6425 g/L dengan *yield* sebesar 3,5436%.

4. Daun yang berpotensi menghasilkan gula reduksi dengan konsentrasi cukup besar yaitu daun mangga dan daun sirsak sebesar 2,3236 g/L dan 2,6425 g/L.
5. Konsentrasi gula reduksi yang dihasilkan dari hidrolisis daun yang diberi perlakuan awal 4,3 kali lebih besar dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan awal.
6. Perlakuan awal menggunakan NaOH 2% yang dilakukan pada temperatur 80°C dengan waktu 2 jam cukup efektif untuk memisahkan menurunkan kristalinitas daun.

9. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian No:0892/K4/KL/2013 tanggal 10 Mei 2013.

10. DAFTAR PUSTAKA

- Aderemi, B.O., Abu, E., Highina, B. K., The kinetics of glucose production from rice straw by *Aspergillus niger* African Journal of Biotechnology, 2008, 7(11), 1745-1752.
- Anwar, N., Widjaja, A., Winardi, S., *Peningkatan Unjuk Kerja Hidrolisis Enzimatis Jerami Padi Menggunakan Campuran Selulase Kasar dari Trichoderma reesei dan Aspergillus niger*, MAKARA SAINS, 2010, 14, 113-116.
- Anwar, N., *Produksi Hidrogen dari Jerami Padi Secara Anaerobik Nonfotosintesis Melalui Hidrolisis Enzimatis*, Tesis Doktor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Pebruari 2012.
- Anwar, N., Trilaksono, G., Triyani, Y., Afriyanti, E.N., *Pengaruh Delignifikasi Menggunakan NaOH pada Hidrolisis Jerami Padi Menggunakan Asam Sulfat Encer*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Jogjakarta, 2013, 16 1-4.
- Aziz, A., Husin, A., M., Mokhtar, A., *Preparation of Cellulose From Oil Palm Empty Fruit Bunches Via Ethanol Digestion: Effect of Acid and Alkali Catalysts*. Journal of Oil Palm Research, 2002, 14(1), 9-14.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- IOPRI, *The Indonesian Palm Oil: Its Development, Uses, and Futures*. Internet Edition, 2004.
- Karimi, K., Kheradmandinia, S., Taherzade, M.J., Conversion of rice straw to sugars by dilute-acid hydrolysis, *Biomass and Bioenergy*, 2006, 30, 247-253.
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Van Zyl, W.H., Pretorius, I.S., *Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology*. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 2002, 66 (3):506-577.
- Megawati, W., Sediawan, B., Sulisty, H., Hidayat, M., *Kinetika Reaksi Hidrolisis Lignoselulosa dari Sampah Organik Perkotaan dengan Asam Encer pada Kondisi Non-Isotermis*, Prosiding Seminar Soebardjo Brotohardjono VI, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya, 2009, A3-1-7
- Murniati, *Conversion of Imperata Cylindrica Grassland into Agroforestry System Through the Application of Mycorrhiza and Shading Trees*. Tropenbos Foundation, Wageningen, 2004.
- Najafpour, G., Ideris, A., Salmanpour, S., Norouzi, M., *Acid Hydrolysis of Pretreated Palm Oil Lignocellulosic Wastes*, *IJE Transactions B: Applications*, 2007, Vol. 20, No. 2, 147-156.
- Perez, J., Dorado, M., de la Rubia, J. T., Martinez, J., *Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin: an Overview*. *International Microbiology*, (2002), 5:53-63.
- Sjoberg, G., *Lignin Degradation: Long-term Effects of Nitrogen addition on Decomposition of Forest Soil Organic Matter*. Uppsala: Departement Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences, 2003.
- Sun, Y. and Cheng, J., *Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production*, *Biosource Technology*, 2002, Vol 83, pp. 1-11.
- Taherzadeh, M.J., *Ethanol from Lignocellulose: Physiological Effects of Inhibitors and Fermentation Strategies*. Göteborg: Department of Chemical Reaction Engineering, Chalmers University Of Technology, 1999.
- Pratiwi, *Deforestation and Reforestation Policy in the Tropical Regions, with Special Reference to Indonesia*. PhD Dissertation. University of Ghent, Belgium, 1996, 375p.
- Zhao, Y., Lu, W.J., Wang, H.T., *Supercritical Hydrolysis of Cellulose For Oligosaccharide Production in Combined Technology*, *Chemical Engineering Journal*, 2009, 150, 411-417



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

EFFECT OF CONCENTRATION CELLULOSE ACETATE TO ULTRAFILTRATION MEMBRANE PERFORMANCE AT DECREASING PHOSPHAT COMPOUND IN LAUNDRY WASTE

Sofyana^{1*}, Cut MeurahRosnelly, FriskaMeirisa, MaitrisnaFillya

¹Chemical Engineering Department, Syiah Kuala University

Jl. Tgk. SyechAbdurrauf no. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

#Email: sofyana71@yahoo.co.id

Abstrak

Air buangan yang dihasilkan dari kegiatan laundry mengandung phosphate, amoniak, nitrogen dan minyak mineral, surfaktan. Limbah tersebut dapat menyebabkan polusi jika dibuang langsung ke badan air. Membran ultrafiltrasi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah laundry. Selulosa Asetat (SA) merupakan salah satu polimer yang dapat digunakan untuk pembuatan membran karena mudah diperoleh, bersifat terbarukan dan hidrofilik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh karakteristik membran pada berbagai variabel yang digunakan dan memperoleh membran yang paling memiliki kinerja terbaik untuk menurunkan kadar phosphat dalam limbah laundry. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi selulosa asetat 5, 10, 15 dan 20% dan tekanan operasi 0,5 0.5 ; 1; 1.5; 1.75 dan 2 bar. Membran dibuat didasarkan pada prinsip inversi fasa secara presipitasi immerse. Hasil karakteristik membran menunjukkan bahwa membran dengan konsentrasi selulosa asetat 5 % , 10 % and 15 % memiliki nilai Molecular Weight Cut-Off (MWCO) < 40,000 Da, sedangkan membran dengan konsentrasi SA 20% memiliki MWCO 40,000 Da. Berdasarkan pada hasil koefisien permeabilitas (Lp) dari hasil pembuatan membran menunjukkan membran SA 5% termasuk membran mikrofiltrasi sedangkan membran SA 10 %, 15 % dan 20 % merupakan membran ultrafiltrasi. Nilai fluks paling tinggi diperoleh pada membran SA 5% yaitu 590.938 ml/m².s, sedangkan nilai rejeksi paling tinggi pada membran SA 20% yaitu 72.23 %. Konsentrasi polimer selulosa asetat mempengaruhi kinerja membran dalam penurunan kadar phosphat dalam limbah laundry.

Kata kunci : selulosa asetat, limbah laundry, membran, ultrafiltrasi

Abstract

Waste generated from laundry operations contains phosphate, ammonia nitrogen, Chloride, nitrogen, mineral oil, surfactant ions. This waste can cause pollution if discharged directly into raw water. Ultrafiltration membrane is one technique that can be used to treatment laundry wastewater. Cellulose acetate (CA) is one of polymer can be used in the manufacture of the membrane because it is easily available, renewable, and hydrophilic. The aims of this research is to get the membrane characteristics of the various variables used and get the type of membrane processes as well as getting the best membrane performance to decreased levels of phosphate. Variations used in this study are the concentration of cellulose acetate at 5, 10, 15 and 20 % and the operating pressure at 0.5 ; 1; 1.5; 1.75 and 2 bars. Membrane preparation has been done based on the principle of the phase inversion process in immersion precipitation. The results of membrane characteristic showed that the CA polymer membranes with 5 % , 10 % and 15 % CA have a Molecular Weight Cut-Off (MWCO) < 40,000 Da, where as the CA polymer membranes with 20 % having MWCO of 40,000 Da. Based on the value of the permeability coefficient (Lp), the obtained two types of membrane processes are microfiltration membranes with polymers SA 5 %



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

and ultrafiltration membranes with polymers for SA 10 %, 15 % and 20 %. The resulting flux is greatest at 5 % of the membrane SA 590.938 ml/m².s, while the greatest rejection at the membrane SA 20 % of 72.23 %. The concentration of polymer cellulose acetate affected membranes performance to reduce phosphate compound in laundry wastewater

Keyword: cellulose acetate, laundry wastewater, membrane, ultrafiltration.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama dalam pertumbuhan sosial ekonomi dan untuk memelihara kesehatan ekosistem. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan perkembangannya maka penggunaan air tanah dan air permukaan semakin meningkat, baik untuk air domestik, sektor pertanian dan sektor industri, permasalahan penggunaan sumber daya air yang meningkat menyebabkan munculnya permasalahan yang rumit antara kebutuhan air untuk penggunaan dan untuk lingkungan (FAO: Natural Resources and Environmental Department, 2012)

Industri laundry semakin berkembang dan dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan yang dilakukan secara kontinyu untuk limbah laundry seperti teknologi membran (Hakim, 2010). Membran merupakan salah satu media yang saat ini perkembangannya sangat cepat dalam teknologi pemisahan dan purifikasi seperti dalam industri farmasi, bioteknologi dan industri makanan (Coutinho, et al, 2009) dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air dan pengolahan limbah. (Ciabatti, et al, 2009). Keuntungan penggunaan teknologi membran yaitu energi yang dibutuhkan rendah, tidak perlu penggunaan bahan kimia, tidak menghasilkan pencemaran atau polusi, membutuhkan area yang relative kecil untuk penempatan peralatan dan modul membran mudah dikombinasikan dengan teknologi lainnya. (Mulder, 1996).

Pembuatan membran dapat dilakukan dengan beberapa teknik, salah satunya adalah teknik inversi fasa. Inversi fasa, prinsipnya didasarkan pada proses pembuatan membran

yang mencakup dua fasa yaitu fasa cair yang akan berubah menjadi fasa padat. Pada fasa padat membran mempunyai dua lapisan yang memiliki struktur asimetrik akibat pengaruh penguapan pada saat pencetakan. Kedua lapisan tersebut adalah lapisan aktif dan lapisan penyangga. Lapisan aktif adalah lapisan yang kontak langsung dengan materi, yang selektif terhadap berbagai materi umpan, sedangkan lapisan penyangga (support) berfungsi untuk menyangga lapisan aktif. Lapisan penyangga mengandung lebih banyak pori (Sofyana, 2011). Secara umum, metode pembuatan membran secara inversi fasa melibatkan tiga komponen utama yaitu: polimer, pelarut dan non-pelarut. Dalam proses tersebut ada beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik membran yang dihasilkan, seperti komposisi larutan dope, konsentrasi polimer, pemilihan pelarut/non-pelarut, waktu evaporasi, (Mulder, 1996)

Teknologi membran ultrafiltrasi saat ini diakui oleh industri-industri pengolahan air sebagai suatu proses yang sangat atraktif untuk pengolahan air minum (Nakatsuka, dkk, 1996). Membran Ultrafiltrasi merupakan penghalang fisik yang mampu secara efisien mampu menghilangkan partikel tersuspensi, kekeruhan, koloid, alga, parasite dan virus untuk tujuan proses klarifikasi dan disinfeksi. Dibandingkan dengan proses konvensional seperti flokulasi/koagulasi, sedimentasi, flotasi, penyaringan pasir cepat dan lambat. (Nakatsuka, dkk, 1996). Teknologi ultrafiltrasi memiliki beberapa keuntungan seperti (1) kualitas air hasil pengolahan yang bagus (2) system yang lebih terkompaksi (3) memiliki kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan (4) penggunaan bahan kimia



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yang kecil (5) produksi lumpur yang sangat kecil (Kimura, dkk, 2004)

Selulosa asetat merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan dalam proses pembuatan membran. (Harrison, et al, 2006). Selulosa asetat (SA) merupakan salah satu membran polimer yang digunakan untuk proses pemisahan air seperti teknik ultrafiltrasi dan reverse osmosis. (Kuttowy, et al, 1975).

Pospat yang ada dalam detergen berasal dari Sodium Tripolyphosphate (STPP) yang merupakan salah satu bahan yang kadarnya besar dalam detergen. Dalam detergen, STPP ini berfungsi sebagai *builder* yang merupakan unsur terpenting kedua setelah surfaktan karena kemampuannya menonaktifkan mineral kesadahan dalam air sehingga detergen dapat bekerja secara optimal (Hardyanti dan Rahayu, 2007).

2. METODELOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah selulosa asetat, fosfat dengan konsentrasi seperti dalam limbah laundry, acetone (Merck), *Aquades destiled deionized*. Peralatan yang digunakan adalah modul membran ultrafiltrasi, Erlenmeyer 50 ml (pyrex), pelat kaca, magnetic stirrer, batang pengaduk, hot plate ((Yamato, tipe Mag-mixer MH800), bak koagulasi, termometer, aluminium foil yang dilakukan terdiri dari tiga tahap, yaitu: pembuatan membran, karakteristik membran, uji kinerja membran dalam menurunkan kadar fosfat dalam limbah laundry.

2.1 Pembuatan Membran

Membran yang dibuat dari polimer Selulosa Asetat (SA) merupakan membran asimetrik yang dipreparasi menggunakan metode inversi fasa secara presipitasi imersi, Membran yang dipreparasi memiliki komposisi Selulosa Asetat 5%, aseton 90% dan formamid 5%. Formamid merupakan aditif yang digunakan dan berfungsi sebagai *swelling agent*. Campuran tersebut membentuk larutan dope. Larutan dope disimpan di lemari es selama 24 jam untuk

debubling. Setelah itu dicetak diatas pelat kaca pada temperatur kamar. Evaporasi pelarut dilakukan selama 1 menit, lapisan film yang terbentuk diimmersi dalam bak koagulasi yang berisi aqua dan terjadi proses *demixing*. Pada proses *demixing* tersebut lapisan film (membran) akan terlepas dari pelat kaca setelah beberapa waktu. Membran yang terbentuk diannealing selama 5 menit pada temperature 70 °C. Membran ini disebut dengan membran SA1.

Dengan proses yang sama dibuat membran dengan konsentrasi polimer Selulosa Asetat 10% (SA10%), SA15% dan SA20% . Konsentrasi formamid untuk keempat membran tetap 5% sedangkan konsentrasi aseton disesuaikan dengan konsentrasi Selulosa Asetat.

2.2 Karakteristik Membran

Penentuan Permeabilitas Membran

Penentuan permeabilitas membran (Lp) dilakukan dengan percobaan permeasi dengan umpan *distilled-deionized water* . Fluks yang diperoleh dari masing-masing tempuhan dialurkan pada tekanan 0,5; 1; 1,5; 1,75 dan 2 bar. Permeasi dilakukan dengan menggunakan rangkaian peralatan modul membran ultrafiltrasi.

Penentuan *Molecular Weight Cutt Off* (MWCO)

Percobaan dilakukan dengan permeasi variasi berat molekul larutan dekstran. Larutan dekstran yang digunakan adalah berat molekul 9500, 19.500 dan 39.000 Dalton. Tekanan yang digunakan adalah 0,2 kg/cm³. Untuk setiap membran dialurkan grafik antara berat molekul dengan % rejeksi.

Pengujian Kinerja Membran Untuk Penurunan Kadar Fosfat Dalam Limbah Laundry

Pengujian dilakukan menggunakan limbah laundry sintetis yang diwakili oleh larutan fosfat. Larutan phosphae yang dibuat komposisinya sesuai dengan komposisi phosphate dalam limbah laundry. Permeation test dilakukan pada tekanan operasi 0,5; 1; 1,5; 1,75 dan 2 bar untuk masing-masing



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

membran. Kinerja membran diukur dari nilai fluks dan rejeksi terhadap fosfat.

Fluks didefinisikan sebagai jumlah volume permeat yang melewati membran per satuan luas permukaan per satuan waktu.

$$J = \frac{V}{A.t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: J = fluks (l/m^2jam), V = volume permeat (liter), A = luas permukaan membran (m^2), t = waktu penyaringan (jam)

Koefisien rejeksi atau efisiensi penyisihan dapat diukur dengan menentukan konsentrasi fosfat dalam permeat dan dalam umpan yang dianalisa menggunakan UV Visible Spektrofotometer.. Rejeksi fosfat didefinisikan sebagai (R) dimana

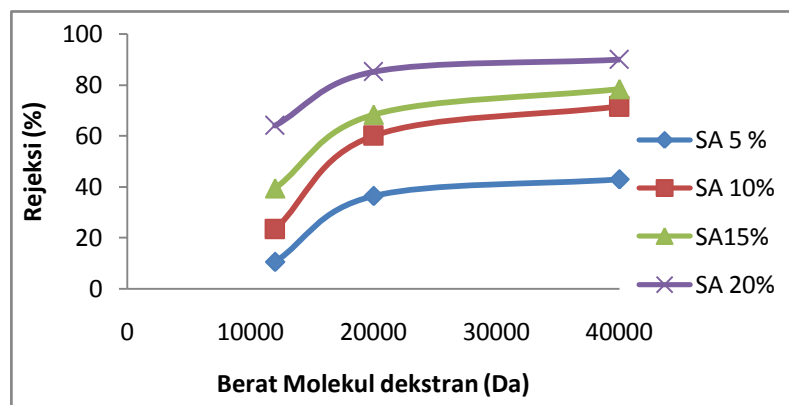
$$R (\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

dimana nilai rejeksi diperoleh dari nilai konsentrasi fosfat yang diperoleh dari hasil analisa menggunakan spechtrphotometer UV Visible dalam umpan (Cf) dan air yang dihasilkan atau permeat (Cp). (Mulder, 1996)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Membran

MWCO dapat didefinisikan sebagai bobot molekul suatu zat pelarut yang 80-90% dapat direjeksi oleh membran. MWCO dapat diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara berat molekul dekstran terhadap rejeksi dari membran SA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara berat molekul dan rejeksi *solute* dekstran pada membran CA

Membran SA dengan konsentrasi 20 % mampu merejeksi larutan dekstran hingga 90 %. Sedangkan membran dengan konsentrasi polimer SA 5 %, 10 % dan 15% tidak mampu merejeksi sampai 90 % hingga berat molekul 40.000 Da, ini disebabkan karena membran tersebut memiliki ukuran pori yang lebih besar dari membran SA 20 % sehingga selektivitas dari membran tersebut lebih rendah. Data perbandingan konsentrasi membran dan besar larutan dekstran dengan rejeksi yang diperoleh pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa harga MWCO untuk membran SA 5 %, 10 % dan SA 15 % lebih kecil dari 40.000 Da, sedangkan

membran SA 20 % dapat menahan 90 % larutan dekstran pada berat molekul 40.000 Da. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi polimer yang digunakan akan menghasilkan ukuran pori membran yang lebih kecil, sehingga harga MWCO yang didapat juga akan kecil.

Tabel 2. Data koefisien Permeabilitas untuk berbagai konsentrasi CA dari hasil penelitian

Membran	Lp(L/m ² .h.atm)
SA 5%	634,228
SA 10%	266,487
SA 15%	133,540
SA 20%	81,414



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Berdasarkan hasil penelitian ini, penentuan koefisien permeabilitas membran (L_p) dapat dilihat pada Tabel 2, dimana nilai L_p untuk membran SA10%, SA15%, SA20% tergolong dalam membran ultrafiltrasi, hal ini didasarkan pada literatur dimana menurut Mulder,1996 bahwa membran ultrafiltrasi memiliki rentang koefisien permeabilitas 50-500 L/m².h.atm, sedangkan nilai L_p untuk membran dengan CA1 adalah 634,228 L/m².h.atm tergolong dalam membran

mikrofiltrasi yang memiliki range nilai $L_p > 500$ L/m².h.atm.

3.2 Kinerja Membran Dalam Penurunan Kadar Phosphat

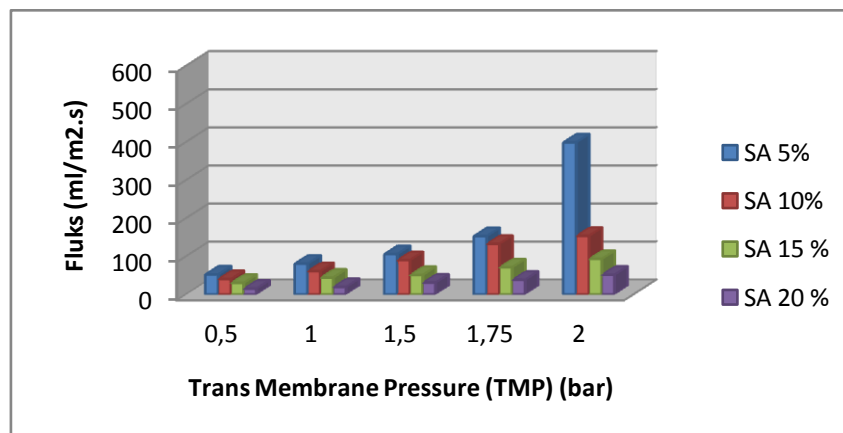
Berdasarkan dari hasil penelitian, diperoleh bahwa nilai fluks semakin meningkat dengan bertambahnya tekanan operasi pada berbagai konsentrasi membran selulosa asetat, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Data MWCO pada membran SA

Membran	MWCO	Rejeksi (%)
SA 5 %	<40.000 Da	42,9
SA 10 %	<40.000 Da	71,5
SA 15 %	<40.000 Da	78,5
SA 20 %	40.000 Da	90,0

Tabel 1 menunjukkan bahwa harga MWCO untuk membran SA 5 %, 10 % dan SA 15 % lebih kecil dari 40.000 Da, sedangkan membran SA 20 % dapat menahan 90 % larutan dekstran pada berat molekul 40.000 Da. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin

besar konsentrasi polimer yang digunakan akan menghasilkan ukuran pori membran yang lebih kecil, sehingga harga MWCO yang didapat juga akan kecil. Perbandingan konsentrasi dan koefisien permeabilitas serta jenis membran dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2 Fluks air murni membran SA pada berbagai tekanan operasi

Gambar diatas menjelaskan bahwa kenaikan nilai fluks semakin meningkat dengan bertambahnya tekanan operasi. Fluks dari permeat semakin meningkat dengan semakin besarnya tekanan (Lobo dkk, 2005). Hubungan fluks dan komposisi selulosa asetat

terlihat pada Gambar 2 bahwa semakin tinggi konsentrasi selulosa asetat maka fluksnya semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi polimer selulosa asetat yang digunakan akan menyebabkan semakin kecil distribusi ukuran pori dan fluks

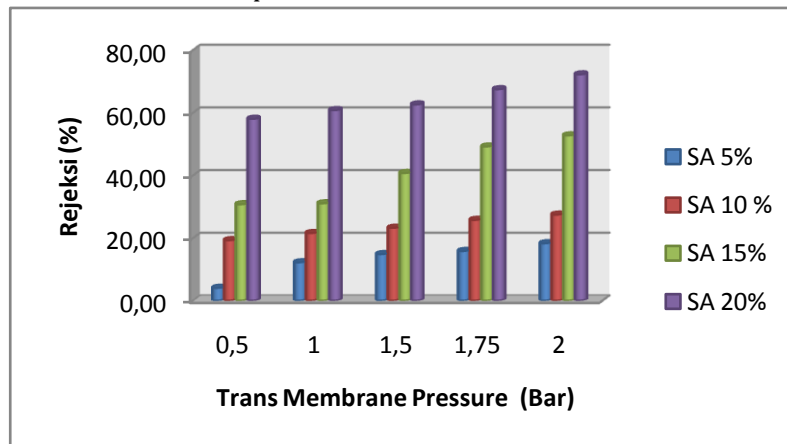


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

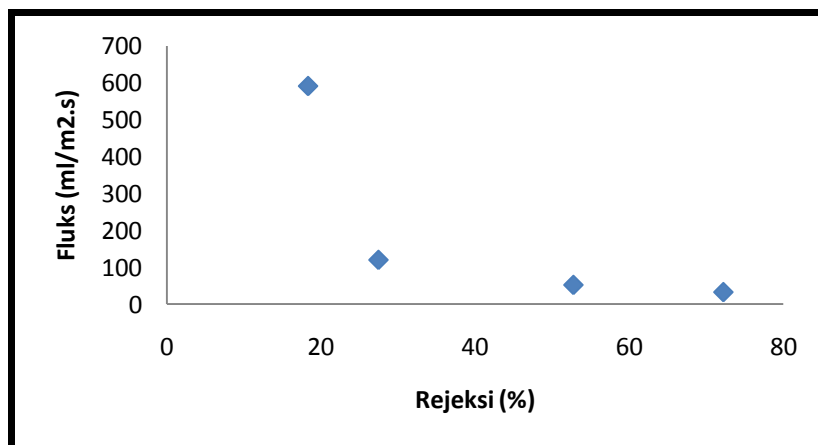
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yang didapat juga semakin kecil (Ferjani dkk, 2003). Konsentrasi polimer yang digunakan dalam pembuatan membran merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi struktur membran yang terbentuk.



Gambar 3. Rejeksi membran CA pada berbagai tekanan operasi terhadap fosfat

Berdasarkan data rejeksi pada setiap variasi membran dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi dari membran maka semakin besar pula rejeksi terhadap fosfat yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi membran maka pori membran yang didapat juga akan semakin kecil. Sehingga fosfat yang mengandung partikel yang berukuran lebih besar dari ukuran pori membran akan semakin tertahan seiring dengan semakin besarnya konsentrasi membran. Perbandingan fluks dan rejeksi diperoleh pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan fluks membran SA pada berbagai konsentrasi polimer terhadap rejeksi (%) pada tekanan 2 bar

Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin besar fluks yang dihasilkan, maka koefisien rejeksi yang didapat akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin besar koefisien rejeksi, nilai fluks yang didapat semakin kecil. Ini disebabkan karena pengaruh konsentrasi polimer SA yang digunakan pada saat pengujian. Semakin besar konsentrasi yang digunakan akan mengakibatkan kenaikan pada nilai rejeksinya sebaliknya nilai fluks semakin kecil karena pori pori membran akan semakin rapat. Nilai rejeksi meningkat dengan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

pengaruh ukuran pori, dimana fluks semakin tinggi untuk membran dengan ukuran pori semakin besar (Lobo dkk, 2005).

4. KESIMPULAN

Membran CA1, CA2, CA3 memiliki MWCO <40.000 Da, sedangkan membran CA4 memiliki MWCO sebesar 40.000 Da. Berdasarkan nilai koefisien permeabilitas (Lp), maka diperoleh dua jenis proses membran yaitu mikrofiltrasi (Membran CA1) dan ultrafiltrasi untuk membran (membran CA2, CA3 dan CA4). Fluks yang dihasilkan paling besar yaitu pada membran CA1 sebesar 590,938 ml/m².s, sedangkan rejeksi terbesar pada membran CA4 sebesar 72,23 %. Semakin besar konsentrasi selulosa asetat maka fluks akan semakin kecil dan rejeksi semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Coutinho, C. M., Chiu, M.C., Basso, R. C., Ribeiro, A. P., Goncaves, L. A., and Viotto, L. A., State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review, *Journal Food Research International*, 2009, (42), pp 536–550.
- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., and Tognotti, F., Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Journal Desalination* 2009..(204), 78-86,
- FAO: Natural resources and environmental department, Water development and management unit, 2012. *FAO Water, Hot Issues: Water Scarcity*
- E. Ferjani, S. Roudesli, A. Deratani, Desalination of brackish water from Tunisian Sahel using composite polymethylhydrosiloxane-cellulose acetate membranes, *Desalination* ,2004,(162), 103-109
- Hakim, F. R. Pengolahan Limbah Jasa Pencucian Mobil dengan Koagulasi dan Flokulasi Secara Batch. Laporan Penelitian, Teknik Lingkungan ITS Surabaya, 2010.
- Harrison, I., Huttenhuis, P.J.G., dan Heesink, A.B.M. *BIOCA Biomass Streams to produce cellulose acetate*. Department of Chemical Engineering, Twente University, Enschede, Procede Twente BV., Enschede, The Netherlands. Science, 2006.
- Hardyanti, N. & Rahayu, S. S., Fitoremediasi Phospat Dengan Penmanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry, *Jurnal Presipitasi*, 2007, 2 (1), ISSN 1907-187X
- K. Kimura, Y. Hane, Y. Watanabe, G. Amy and N. Ohkuma, Irreversible membrane fouling during ultrafiltration of surface water, *Water Res.*, 2004 (38) 3431–3441.
- K. Vasarhely, J.A Ronner, M.H.V. Mulder and C.A. Smolders, *Desalination*, (61), 211-220
- Lobo, A. dkk., 2006, *Ultrafiltration of oil-In-Water Emulsions With Ceramic Membranes: Influence of pH and Crossflow Velocity*, *Journal of Membrane Science* 278 (2006), 328–334
- Mulder, M., *Basic Principles of Membrane Technology*. 2nd edition, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996.
- O. Kuttow, S. Sourirajan, Cellulose acetate ultrafiltration membranes, *Journal Applied Polymer Science*. (1975)19, 1449.
- S. Nakatsuka, I. Nakate and T. Miyano, Drinking water treatment by using ultrafiltration hollow fiber membranes, *Desalination*, 1996, (106), 55–61.
- Sofyana, Studi Pengaruh Pelarut Terhadap Kinerja Membran Selulosa Asetat Pada Klarifikasi Nira Tebu secara Ultrafiltrasi, *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 2011, vol. 24 No.1, 28- 35.
- S. Spiegler, *Journal Membrane Science*, 1989, (43), 1-5
- Sulistiyani, E., 2010, diakses pada: http://eprints.undip.ac.id/13965/2/BAB_2.pdf, tanggal 01 maret 2012 (20:30)



PEMANFAATAN EKSTRAK BIJI PARE SEBAGAI BIOLARVASIDA PADA JENTIK NYAMUK PEMUKIMAN DI DAERAH CIKUPA TANGERANG**Agus Rochmat^{1*}, Indratmo Arif Cahya², Banu Kuncoro²**¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Univeritas Sultan Ageng Tirtayasa Banten²Sekolah Tinggi Farmasi Muhammadiyah Tangerang Banten*Email : agusrochmat@yahoo.co.id

Abstrak

Tanaman Pare (*Momordica charantia* L.) merupakan tanaman yang sering dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari ekstrak biji Pare terhadap mortalitas larva nyamuk pemukiman di daerah Cikupa. Biji Pare diambil ekstraknya menggunakan metode maserasi dengan pelarut Etanol 96%. Setelah didapatkan ekstrak kental, maka ekstrak tersebut difraksinasi dengan tiga pelarut yakni n-heksana, etil asetat dan n-butanol. Ketiga fraksi tersebut lalu diuji toksisitasnya dengan metode BSLT, diperoleh data toksisitas yang dinyatakan dalam LC₅₀ masing-masing fraksi n-heksana 109,773 ppm, fraksi n-butanol 160 ppm, dan fraksi etil asetat 123,061 ppm. Kemudian ketiganya diuji toksisitasnya terhadap larva nyamuk pemukiman di daerah Cikupa dengan kontrol positif bubuk Abate. Pengujian dilakukan dengan memberikan ketiga fraksi diatas dengan beberapa konsentrasi ke dalam botol yang berisi 10 ekor larva nyamuk. Pemaparan dilakukan dalam 24 jam yang terbagi dalam 12 jam terang dan 12 jam gelap. Diperoleh data LC₅₀ untuk fraksi heksana 1527,6 ppm, n-butanol 1860,5 ppm, dan etil asetat 1442,4 ppm, sedangkan pada kontrol positif diperoleh LC₅₀ 14,53 ppm. Hasil analisa dengan menggunakan GCMS diperoleh senyawa metil 9 cis, 11 trans, 13 trans oktadekatrienoat sebanyak 26 % yang diduga memiliki aktifitas larvasida.

Kata kunci: *Momordica charantia* L., BSLT, LC₅₀, GC-MS**Abstract**

Pare (Momordica charantia L.) is a plant that is often used by the people of Indonesia. Pare seed extract is taken using the method of maceration using 96% ethanol. Having obtained the condensed extract, the extract is fractionated with three solvents namely n-hexane, ethyl acetate and n-butanol. All three fractions are then tested toxicity with BSLT method, the data obtained are expressed in LC₅₀ toxicity of each fraction 109.773 ppm n-hexane, n-butanol fraction of 160 ppm, ethyl acetate dan fraksi 123.061 ppm. Then the three tested their toxicity to mosquito larvae settlement in the region Cikupa with a positive control powder Abate. Testing is done by giving three fractions above with some concentration into a bottle containing 10 mosquito larvae. The exposure is done within 24 hours, divided into 12 hours of light and 12 hours dark. LC₅₀ data obtained for hexane fraction 1527.6 ppm, 1860.5 ppm n-butanol, and ethyl acetate 1442.4 ppm, whereas the positive control obtained 14.53 ppm LC₅₀. GCMS analysis of the results obtained using methyl 9 cis, 11 trans, 13 trans oktadekatrienoat 26% were suspected to have activity larvicides.

Keyword : *Momordica charantia* L., BSLT, LC₅₀, GC-MS



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

3. Pendahuluan

Hama pemukiman adalah makhluk yang dalam keperluan hidupnya berada di lingkungan pemukiman yang dapat merugikan atau membahayakan kehidupan manusia. Beberapa hama pemukiman yang paling sering menjadi masalah di Indonesia adalah nyamuk, lalat, kecoa, tikus, semut, dan lain-lain. Nyamuk di Indonesia terdiri atas 457 spesies, diantaranya 80 spesies *Anopheles*, 125 *Aedes*, 82 *Culex*, 8 *Mansonia*, sedangkan sisanya tidak termasuk begitu mengganggu. Beberapa contoh jenis nyamuk yang terdapat di Indonesia adalah nyamuk vektor malaria seperti *Anopheles aconitus*, *An. sudaicus*, *An. maculatus*, *An. vagus*, *An. kochi*, dan *An. Barbirostris*, kemudian nyamuk vektor DBD seperti *Aedes aegypti* dan *Ae. albopictus*; nyamuk rumah seperti *Culex quinquefasciatus*, nyamuk rawa-rawa seperti *Mansonia uniformes*, nyamuk kebun seperti *Armigeres subalbatus* dan nyamuk gajah seperti *Toxorhynchites amboinensis*, (Kemenkes, 2012).

Pencegahan paling efektif terhadap penyebaran penyakit-penyakit yang dibawa oleh nyamuk adalah pengendalian vektornya. Pengendalian vektor nyamuk yang populer adalah pengendalian vektor secara fisika, kimia, dan biologi. Pengendalian vektor secara kimiawi masih paling populer bagi masyarakat. Salah satu upayanya adalah abatisasi, yakni penggunaan larvasida kimia Abate sebagai pengendali vektor, (Suirta, dkk. 2007). Abate merupakan larvasida kimia berbahan aktif Temafos yang terdaftar sebagai pengendali nyamuk di Departemen Pertanian Republik Indonesia dengan nomor RI.1471/5-2004/T, (Kepmentan, 2004).

Selain larvasida kimia, dikenal pula larvasida biologi yang diperoleh dari produk mikrobiologi, yakni bakteri *Bacillus thuringiensis* subspecies *israelensis* yang tersedia dalam bentuk granul, dan digunakan untuk nyamuk jenis *Culex*, (Valent Bioscience, 2010). Spesies jamur *Metarhizium anisopliae* juga telah terbukti bisa digunakan untuk

membasmi larva nyamuk *Anopheles aconitus*, (Windarti, 2010).

Tanaman pare (*Momordica charantia* L.) merupakan tanaman tropis yang hidup dengan baik dan subur di Indonesia. Sebagian besar pemanfaatan tanaman pare di Indonesia masih terbatas pada tujuan konsumtif saja yakni pemanfaatan daging buahnya untuk digunakan sebagai lalapan maupun untuk dijadikan sayur. Pemanfaatan bagian lain dari tanaman Pare seperti akar, biji, dan bunga belum dioptimalkan, apalagi penelitian ilmiah mengenai kegunaannya sebagai tanaman obat masih minim. Tanaman pare mengandung beberapa zat metabolit sekunder antara lain alkaloid, saponin, dan flavonoid yang tersebar pada beberapa bagian tanaman pare yaitu pada bagian daging buah dan akar pare terdapat beberapa senyawa alkaloid yang berkhasiat sebagai anti disentri yang disebabkan oleh bakteri *Shigella dysenteriae*. Keberadaan senyawa-senyawa inilah yang akan diteliti aktifitas larvasidanya, (BPOM, 2004).

4. Metode

Alat-alat yang digunakan adalah gelas ukur, neraca analitik, oven, corong pemisah, pipet, batang pengaduk kaca, lup, penangas air, *vial* atau botol kaca, kain flannel hitam, kain saring, penangas air, akuarium, pengatur udara, pisau, dan lampu.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji pare, etanol 96% (Ex. Merck), aquadest, n-heksana (Ex. Merck), n-butanol (Ex. Merck), Etil Asetat (Ex. Merck), larva *Artemiasalina Leach*, larva nyamuk, ragi sebagai pakan larva, dan air laut (Perairan Anyer Banten).

Sampel larva nyamuk diperoleh dengan teknik *Simple Random Sapling* di 20 titik di kecamatan Cikupa. Titik-titik sasaran yang dimaksud terdiri dari tempat penampungan air rumah tangga, selokan, dan danau. Cara pengambilan larva *Artemia salina Leach* dengan dengan teknik *Simple Random Sampling*.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

a. *Pembuatan Ekstrak Etanol Biji Pare (Farmakope Edisi III)*

Biji pare mula-mula dibersihkan, dan dicuci dengan air. Lalu dikeringkan di tempat terbuka dengan sirkulasi udara yang baik dan tidak boleh terpapar panas yang terlalu tinggi. Biji pare yang sudah kering kemudian diblender sampai halus, baru kemudian diekstraksi dengan metode maserasi. Maserasi dilakukan dengan cara merendam biji pare kering dalam pelarut alkohol 96% selama 3 x 24 jam. Filtrat dipisahkan dari biomasnya dan dikentalkan dengan *Rotary Evaporator*.

b. *Fraksinasi Etil Asetat, n-heksana, dan n-butanol ekstrak Biji Pare*

Ekstrak kental yang didapatkan dari tahap ekstraksi, kemudian ditambahkan sejumlah aquadest dan n-heksana, campuran tersebut kemudian dikocok. Setelah dikocok akan terbentuk 2 lapisan yakni lapisan ekstrak etanol biji pare-air dan filtrat n-heksana. Dari filtrat n-heksana inilah kemudian *dirotary evaporator* sehingga didapat fraksi n-heksana dari biji pare.

Fraksinasi tahap dua adalah fraksinasi dengan pelarut Etil Asetat. Pada tahap ini, ekstrak etanol biji pare-air dari fraksinasi tahap pertama ditambahkan dengan sejumlah Etil Asetat lalu dikocok. Setelah dikocok terdapat 2 lapisan yakni ekstrak etanol biji pare-air dan filtrat Etil Asetat. Filtrat Etil Asetat kemudian *dirotary evaporator* untuk mendapatkan fraksi Etil Asetat dari biji pare.

Fraksinasi tahap tiga menggunakan pelarut butanol. Fraksinasi ini dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah pelarut n-butanol ke dalam ekstrak etanol biji pare-air dan kemudian dikocok. Setelah pengocokan, didapatkan 2 lapisan yakni ekstrak etanol biji pare-air dan filtrat n-butanol. Dari filtrat n-butanol ini kemudian *dirotary evaporator* untuk mendapatkan fraksi n-butanol dari biji pare.

c. *Pelaksanaan BSLT (Meyer et al., 1982)*

Pelaksanaan uji dilakukan dengan membuat larutan stok dari masing-masing fraksi. Dari larutan tersebut dibuatlah larutan

fraksi Etil Asetat, n-heksana, n-butanol dari ekstrak etanol biji pare dengan jumlah masing-masing 0 ppm (sebagai kontrol), 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 500 ppm dan 1000 ppm dengan aquadest dan dimasukkan ke dalam tabung yang sudah diberi identitas kelompoknya, (Arcanjo, et al, 2012) dan ditambahkan DMSO (Dimethyl Sulfoxide) sebanyak 2 tetes, (Juniarti, dkk, 2009).

Kemudian baru dimasukkan larva udang yang telah berumur 48 jam ke dalam seri tabung uji yang berisi ekstrak biji pare yang telah disiapkan masing-masing sebanyak 10 ekor sehingga volume dalam masing-masing tabung menjadi 5 ml. Tabung uji lalu diletakkan di bawah penerangan selama 24 jam, kemudian dihitung jumlah larva udang yang mati. Masing-masing perlakuan direplikasi sebanyak 3 kali. (Agnimahon, et al, 2012). Kriteria standar untuk menilai kematian larva udang adalah bila larva udang tidak menunjukkan pergerakan selama beberapa detik observasi, (Cahyadi, 2009).

d. *Uji potensi anti jentik nyamuk (WHO, 1981)*

Pelaksanaan uji dilakukan dengan membuat larutan stok fraksi ekstrak etanol biji Pare yang nilai LC 50-nya paling kecil. Dari larutan tersebut dibuatlah larutan fraksi Etil Asetat, n-heksana, n-butanol dari ekstrak etanol biji pare dengan jumlah masing-masing 1 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, dan 100 ppm dengan aquadest dan dimasukkan ke dalam tabung yang sudah diberi identitas kelompoknya, (Arcanjo, et al, 2012) dan ditambahkan DMSO (Dimethyl Sulfoxide) sebanyak 2 tetes, (Juniarti, dkk, 2009) diisi 10 ekor jentik nyamuk dan setiap konsentrasi perlakuan di ulang 3 kali, (Suirta, dkk, 2007).

Semua beaker glass dijaga di dalam ruangan dan kematian (mortalitas) larva dicatat selama 24 jam tanpa pemberian pakan. Suhu yang dipakai selama pengujian adalah suhu kamar (25 °C-30 °C). Kondisi pencahayaan selama pengujian dikondisikan sesuai dengan keadaan ideal alam yakni 12



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

jam dengan cahaya dan 12 jam tanpa cahaya, (Suirta, dkk, 2007).

e. Identifikasi senyawa dengan GC-MS

Fraksi yang memiliki nilai LC50 terkecil akan di analisis kandungan senyawanya menggunakan GC-MS(*Gas Chromatography-Mass Spectrofotometer*) di Labkesda, Jakarta.

5. Hasil dan Pembahasan

a. Tumbuhan Pare

Hasil determinasi sampel tanaman Pare yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di laboratorium Herbarium Bogorisense Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Biologi, Cibinong, Bogor memiliki nama latin: *Momordica charantia* L.

b. Hasil Uji Toksisitas Akut (LC_{50} Brine Shrimp Lethality Test)

Ekstrak biji Pare yang digunakan dalam penelitian ini, diperoleh dengan cara maserasi simplisia biji Pare dengan pelarut Etanol (96%) selama 3x24 jam. Filtrat yang diperoleh dikeringkan pada *rotary evaporator* hingga terbentuk ekstrak kental. Ekstrak kental Etanol biji pare dipartisi menggunakan pelarut n-Heksana, Butanol, dan Etil Asetat dan

diapkan pelarutnya menggunakan oven bersuhu 50°C, yang kemudian ekstrak kentalnya dinamakan sesuai dengan pelarut yang digunakan yakni fraksi n-Heksana, fraksi Butanol, dan fraksi Etil Asetat.

Ketiga fraksi ini kemudian dilakukan uji toksisitas akut dengan metode BSLT yaitu dengan melihat kematian larva *Artemia* yang diberikan perlakuan penambahan fraksi-fraksi dengan variasi konsentrasi dalam media hidupnya selama 24 jam. Tujuan pengujian ini adalah melihat toksisitas fraksi-fraksi dari ekstrak biji Pare untuk digunakan dalam penelitian selanjutnya, yakni pengujian daya anti larva nyamuk. Sementara itu, pengujian BSLT pada kelompok kontrol negatif, tak ada larva udang yang mati.

Pengolahan data pengujian BSLT dilakukan dengan analisis probit menggunakan software Microsoft Excel, sedangkan perhitungan LC_{50} menggunakan persamaan garis $y=ax+b$ dengan nilai mortalitas sebagai garis y dan nilai konsentrasi sebagai garis x. LC_{50} dihitung dengan mortalitas sebesar 50% yakni pada $y=0,5$.

Tabel 1. Hasil Pengujian BSLT Ekstrak Biji Pare

No.	Fraksi	Regresi	R ²	LC ₅₀
1.	n-Heksana	$y = 0,145x + 34,05$	0,647	109,773 ppm
2.	Butanol	$y = 0,075x + 38$	0,653	160 ppm
3.	Etil Asetat	$y = 0,148x + 31,75$	0,692	123,061 ppm

Hasil perhitungan LC_{50} dari masing-masing fraksi menunjukkan bahwa semua fraksi yang diperoleh dari ekstrak etanol biji Pare bersifat toksik dan dapat digunakan sebagai biolarvasida. Nilai LC_{50} apabila nilai LC_{50} kurang dari 200 ppm

c. Hasil Uji Anti Jentik Nyamuk

Ketiga fraksi disini diujikan daya anti jentik nyamuknya dengan melihat kematian jentik nyamuk yang diberikan perlakuan penambahan fraksi dengan variasi konsentrasi dalam media hidupnya selama 24 jam (12 jam terang dan 12 gelap). Tujuan pengujian ini



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

adalah melihat keaktifan fraksi-fraksi dari ekstrak biji Pare sebagai anti jentik nyamuk.

Pada pengujian anti jentik nyamuk ini, digunakan kelompok kontrol positif yakni bubuk ABATE, sehingga dapat kita ketahui langsung perbandingan daya anti jentik nyamuk antara ABATE sebagai kontrol positif dibandingkan dengan fraksi-fraksi ekstrak biji Pare.

Sama halnya dengan pada pengolahan data pada BSLT, pengolahan

data pada pengujian anti jentik nyamuk dilakukan dengan analisis probit menggunakan software *microsoft excel*, sedangkan perhitungan LC_{50} menggunakan persamaan garis $y=ax + b$ dengan nilai mortalitas sebagai garis y dan nilai konsentrasi sebagai garis x . LC_{50} dihitung dengan mortalitas sebesar 50 % yakni pada $y=0,5$. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian anti jentik nyamuk pada masing-masing fraksi dari ekstrak biji Pare.

Tabel 2. Hasil Pengujian Anti Larva Nyamuk Ekstrak Biji Pare

No.	Fraksi	Regresi	R ²	LC ₅₀
1.	n-Heksana	$y = 0,05x - 26,38$	0,973	1527,6 ppm
2.	Butanol	$y = 0,037x - 22,38$	0,933	1860,5 ppm
3.	Etil Asetat	$y = 0,053x - 27,35$	0,983	1442,4 ppm
4.	ABATE	$y = 4,604x + 16,898$	0,8818	14,53 ppm

Hasil perhitungan LC_{50} dari fraksi memiliki nilai yang cukup besar, namun masih memiliki potensi sebagai bahan aktif pestisida pada konsentrasi dibawah 1500 ppm (Laughin, 1991). Sedangkan sebagai kontrol positif yakni abate, diperoleh LC_{50} sebesar 14,53 ppm.

Adanya perbedaan nilai LC_{50} yang signifikan antara kontrol positif yakni ABATE dengan fraksi Etil Asetat sekitar 100 kali lipat dikarenakan konsentrasi metil stearat dalam fraksi Etil asetat sebanyak 22,51% cukup besar. Rejmankova *et al* pada tahun 2013 menyatakan bahwa Metil stearat merupakan salah satu makanan (sumber energi) bagi larva nyamuk. Sementara itu konsentrasi senyawa aktivitas anti jentik nyamuk yakni Metil 9 cis, 11 trans, 13 trans oktadetrienoat sebanyak 24 %. Faktor inilah yang menyebabkan nilai LC_{50} dari fraksi Etil asetat sangat tinggi.

d. Hasil Uji GC-MS

Fraksi etil asetat dipilih untuk pengujian GC-MS dengan alasan nilai LC_{50} baik dengan BSLT maupun uji potensi toksisitas jentik nyamuk yang kecil.

Tabel di bawah merupakan hasil dari uji GC-MS dengan hanya menampilkan empat senyawa dengan prosentase tertinggi yang terkandung di dalam sampel. Senyawa metil 9, 11, 13 oktadetrienoat memiliki kemampuan sebagai biolarvasida seperti yang dilaporkan oleh Selvi dan Meenakshi, 2012 yang berhasil mengisolasi metil 9, 11, 13 octadecatrienoate dari tanaman *Phallusia nigra* dan diujikan pada larva *Anopheles stephensi* dan *Culex quinquefasciatus* yang pada konsentrasi 1500 ppm memiliki kemampuan mortalitas 100% pada umur uji 24 jam.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 3. Hasil Analisis GC-MS Senyawa Dominan pada fraksi Etil Asetat Biji Pare

No.	Nama Senyawa	Persentase	BM	Struktur molekul
1.	Metil Oleat	4.12	296.49	 methyl oleate
2.	Metil stearat	22.51	298.5	 methyl stearate
3.	Methyl 9 cis, 11 trans, 13 trans-octadecatrienoate	23,24	292,24	 Methyl 9 cis, 11 trans, 13 trans-octadecatrienoate
4.	Tributil sitrat	6.77	360.44	 tributyl citrate

Sementara itu, Kumar *et. al*, 2012, melakukan uji biolarvasida dari ekstrak metanol tanaman *Achalya indica* yang mengandung metil 9, 11, 13 oktadekatrienoat sebanyak 40,67 % memiliki nilai LC_{50} pada larva *Anopheles stephensi* sebesar 248,24 ppm, *Aedes aegypti* sebesar 128,24 ppm dan *Culex quinquefasciatus* sebesar 228,6 ppm.

Maka ekstrak etil asetat biji pare yang mengandung metil 9, 11, 13 oktadekatrienoat dapat dijadikan sebagai biolarvasida untuk pemberantasan jentik nyamuk. Adapun hasilnya 1442,4 ppm yang cukup besar jika dibandingkan dengan studi literatur, hal ini dikarenakan ekstrak masih merupakan campuran senyawa seperti yang ditampilkan pada tabel hasil GCMS-nya

dimana kandungan senyawa metil 9, 11, 13 oktadekatrienoat hanya 24 %.

Selain dari pada itu, disebutkan pada studi literatur diatas bahwa penelitian terhadap ekstrak yang mengandung metil 9, 11, 13 oktadekatrienoat tersebut hanya dilakukan pada satu jenis larva nyamuk saja, sedangkan pada penelitian ini ekstrak etanol ini diujikan pada larva nyamuk pemukiman yang artinya bahwa larva nyamuk tidaklah spesifik seperti literatur yang ada.

C. SIMPULAN DAN SARAN

- Nilai LC_{50} fraksi n-heksana: 109,773 pm, Butanol: 160 ppm, dan Etil asetat: 123,061 ppm.
- Nilai toksisitas LC_{50} pada uji potensi biolarvasida terkecil adalah fraksi Etil asetat yakni 1442,4 ppm.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- c. Hasil analisis menggunakan GCMS fraksi etil asetat diperoleh suatu senyawa yang aktif sebagai anti jentik nyamuk yakni metil 9 cis, 11 trans, 13 trans oktadekatrienoat sebanyak 24 %.

d. DAFTAR PUSTAKA

- Boyd, Claude E. Ph.D. 2004. *LC50 Calculations Help Predict Toxicity*. Global Aquaculture Advocate. Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University Alabama. Page: 84-87.
- B POM. 2004. *DTCA (Direct to Consumer Advertising) dan pengaruhnya*. InfoPOM. Vol. 5, No. 3. ISSN: 1829-9334. Hal: 11-12
- Cahyadi, Roby. 2009. Uji Toksisitas Akut Ekstrak Etanol Buah Pare (*Momordica charantia* L.) Terhadap Larva *Artemia salina* Leach Dengan Metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT). FK UNDIP. Semarang. Hal. 8-9.
- Carballo JL, et al. 2002. *Comparison between two brine shrimp assays to detect in vitro cytotoxicity in marine natural products*. BMC Biotechnology. Vol. 2. ISSN: 1472-6570.
- Departemen Kesehatan RI. 1979. Farmakope Indonesia Edisi III. Jakarta. Hal. 9-33.
- Dumitrascu, Mioara. 2011. *Artemia salina*. Balneo-Research Journal Vol.2, No.4. Page 119-122
- Goretti, Maria dan Lili Panggabean. 1984. Teknik Penetasan dan Pemanenan *Artemia Salina*. Oseana, Vol. IX .ISSN: 0216 - 1877, hal: 57 - 65.
- Harmita dan Radji, Maksum. 2008. Buku Ajar Analisis Hayati. Jakarta: Buku Kedokteran EGC. Hal 76-78.
- Haryanto, Sugeng. 2012. Ensiklopedi Tanaman Obat Indonesia. Yogyakarta: Palmall. Hal 375-378.
- Instalasi Penelitian Dan Pengkajian Teknologi Pertanian. 1996. Usaha Tani Tanaman Pare. Jakarta. Hal. 1.
- Juniarti, dkk. 2009. Kandunagn Senyawa Kimia, Uji Toksisitas (*Brine Shrimp Lethality Test*) Dan Antioksidan (*1,1-diphenyl-2 pikrilhydrazyl*) Dari Ekstrak Daun Saga (*Abrus precatorius* L.). Makara Sains. Vol. 13, No. 1, Hal. 50-54.
- Kementerian Kesehatan RI. 2012. Hama Pemukiman Di Indonesia. Bakti Husada. Hal. 1-2.
- Kementerian Pertanian. 2004. Kepmentan No.339/Kpts/SR.140/6/2004 tentang Pendaftaran Dan Pemberian Izin Tetap Pestisida. Jakarta. Hal.6.
- Kumar, S. Vijaya, et al. 2012. *Mosquito Larvicidal, Oviposition Deterrent And Repellent Properties of Achalya indica L. Extracts againts Aedes aegypti, Anopheles stephensi, And Culex quinquefasciatus*. International Journal of Medicine And Bioscience. Page 33-41.
- Lu, Anmin, et al. 2011. *Momordica Linnaeus*. Flora of China. Vol. 19. Page 28-30
- Mayer BNNR, Ferrigni ML. 1982. *Brine Shrimp, a convinient general bioassay for active plant constituents*. J of Plant Medical Research. Vol.45. Page:31-34.
- Mudjiman, A. 1998. Udang Renik Air Asin. Bharta Karya Aksara. Jakarta.
- Nurmaini. 2003. Mentifikasi Vektor dan Pengendalian Nyamuk *Anopheles acoitus* secara sederhana. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sumatera Utara. Hal. 1-5.
- Oktora, Lusia dan Kumala Sari Ruma. 2006. Pemanfaatan Obat Tradisional Dengan Pertimbangan Manfaat Dan Keamanannya. Majalah Ilmu Kefarmasian, Vol. III, No.1, ISSN : 1693-9883. Hal 1-7.
- Rejamankova, Eliska et al. 2013. *Anopheles Mosquitos-New Insight Into Malaria Vectors*. Page 409-410
- Rita WS, dkk. 2008. Isolasi dan Identifikasi Senyawa Yang Berpotensi Sebagai Antitumor Pada Daging Buah Pare (*Momordica charantia* L.). Jurnal Kimia. ISSN: 1907-9850. Vol.2.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. 1985. Kromatografi. Yogyakarta: Liberty. Hal: 49-55
- Satriyo, Mochammad Dwi. 2009. Jenis Dan Fluktuasi Nyamuk Serta Pengaruh



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- Antinyamuk *Liquid Vaporizer* Terhadap Nyamuk Yang Menghisap Darah Pada Malam Hari Di Desa Babakan Kecamatan Darmaga. FKH IPB. Hal. 3-13.
- Selvi, M. Paripoorana and Meenakshi, V. K.. 2012. *Screening Of A Few Chosen Ascidians Of Tuticorin Coast For Larvacidal Activity*. Annals Of Biological Research. ISSN 0976-1233. Page 3849-3852.
- Subahar, Tati S.S., dan Tim Lentera. 2004. *Khasiat Dan Manfaat Pare: Si Pahit Pembasmi Penyakit*. Tangerang: Agromedia Pustaka. Hal.
- Suirta, I W. dkk. 2007. Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Aktif Larvasida Dri Biji Mimba (*Azadirachta indica* A. Juss) Terhadap Larva Nyamuk Demam Berdarah (*Aedes aegypti*). Jurnal Kimia. Vol. 1. ISSN: 1907-9850. Hal. 47-54.
- Sukowati, Supratman. 2010. Masalah Vektor Demam Berdarah Dengeu(DBD) Dan Pengendaliannya Di Indonesia. Buletin Jendela Epidemiologi. Vol.2. Hal. 26-30
- Valent BioScience. 2010. *Safety Directions of Vectobac WG*. Illinois. United States of America. Page 1
- Wahyu Windarti, Priska. 2010. Pengaruh Suspensi Jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva nyamuk *Anopheles aconitus*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Hal. 34.
- WHO. 2005. *Guidelines For Laboratory And Field Testing Of Mosquito Larvacides*. CPE Department. Page 9-12.



**PEMBUATAN ASAM LAKTAT BERBAHAN BAKU TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN METODE SAKARIFIKASI FERMENTASI SIMULTAN**

Rahmayetty^{1*}, Dwi Prasetyo¹, Rosalia¹, , Misri Gozan²

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Untirta, Jl. Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon-Banten

²Departemen Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok

*Email : yettyfaith1@yahoo.com

Abstrak

Produksi minyak kelapa sawit semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri minyak kelapa sawit. Hal ini menyebabkan semakin banyak limbah padat dan cair yang dihasilkan. Limbah padat kelapa sawit berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Komponen terbesar TKKS terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. TKKS memiliki potensi untuk diolah menjadi berbagai macam produk, salah satunya adalah asam laktat. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah TKKS menjadi asam laktat dan mendapatkan rasio bakteri *Lactobacillus delbrueckii* yang optimum terhadap TKKS menggunakan metode sakarifikasi-fermentasi simultan (SSF). Metode SSF adalah proses kombinasi antara hidrolisis selulosa secara enzimatis dengan fermentasi gula yang berkelanjutan sehingga menghasilkan produk akhir berupa asam laktat. Proses SSF dilakukan dengan memasukkan 100 gr serbuk TKKS dan air dengan perbandingan 1:1 ke dalam reaktor *batch* anaerob. Setelah itu menambahkan *Trichoderma pseudokonimgii* dan *chytophaga sp.* 5% w/w dengan variasi inokulum cair bakteri *L. Delbrueckii* 0.5%, 1%, 3%, dan 5% dengan waktu inkubasi 5 hari, kemudian setiap 24 jam dilakukan analisa kadar asam laktat dengan *High Pressure Liquid Chromatography* (HPLC). Hasil Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi asam laktat yang optimum diperoleh pada rasio 3% *L. Delbrueckii* terhadap TKKS yaitu sebesar 49,701 ppm.

Kata kunci : TKKS, asam laktat, sakarifikasi fermentasi simultan, SSF

Abstract

*Palm oil production has increased along with the growth of the palm oil industry. This leads to the increasing of generated solid and liquid waste. Solid waste is oil palm empty fruit bunches (TKKS). The largest component of TKKS composed of cellulose, hemicellulose and lignin. TKKS has the potential to be processed into various products, one of which is lactic acid. The aim of this study to process TKKS into lactic acid and obtain volume of bacteria *Lactobacillus delbrueckii* to highest lactic acid production using simultaneous saccharification-fermentation (SSF). SSF method is the combination of enzymatic hydrolysis of cellulose by continuous fermentation of sugars to produce the end product is lactic acid. SSF process is done by inserting a 100 gr TKKS powder and water at a ratio of 1: 1 into an anaerobic batch reactor. After that add *Trichoderma pseudokonimgii* 2.5 gr with the variation of liquid inoculum of bacteria *L. delbrueckii* 0.25 ; 0.5 , 1.5, and 2.5 ml with incubation time of 5 days, then every 24 hours to analyze the levels of lactic acid by High Pressure Liquid Chromatography (HPLC). Results showed that the highest concentration of lactic acid was 49.701 ppm obtained in addition volume of bacteria *Lactobacillus delbrueckii* 1.5 ml.*

Keywords : TKKS, lactic acid, simultaneous saccharification-fermentation, SSF



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri minyak kelapa sawit memicu semakin luasnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia, baik yang dikelola oleh perusahaan negara, swasta dan rakyat. Pemerintah menetapkan selama periode 2010–2014 dilakukan perluasan areal pertanian seluas 2 juta hektar, meliputi lahan sawah dan areal pertanian lahan kering berupa palawija, tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, serta hijauan makanan ternak dan padang penggembalaan. Perluasan areal secara signifikan terutama pada kelapa sawit, yakni 8,127 juta ha pada 2010, menjadi 8,342 juta ha pada 2011, dan 2014 diproyeksikan menjadi 8,967 juta ha. Luas total areal 15 komoditas unggulan pada 2014 diprediksi mencapai 21,988 juta ha dan, total produksi mencapai 42,736 juta ton. (PT. Media Data Riset 2011).

Dengan meningkatnya produksi minyak kelapa sawit, maka semakin meningkat pula buangan limbah yang dihasilkan baik berupa limbah cair maupun limbah padat berupa sludge dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS merupakan limbah padat terbesar pada industri kelapa sawit, yaitu mencapai 22 – 25% dari bobot tandan buah segar (Peni, 1995 dalam Loebis, 2008). Tandan kosong kelapa sawit mengandung selulosa 37,3-46,5 % dan hemiselulosa 25,3-33,8% ([Sudiyani et al., 2013](#)). Melihat kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi, maka tandan kosong kelapa sawit mempunyai potensi yang besar sebagai sumber glukosa, dimana glukosa dapat dikonversikan menjadi asam laktat. Asam laktat dapat dihasilkan melalui proses kimiawi dan juga biologis (fermentasi). Sumber karbon untuk produksi asam laktat dengan menggunakan mikroba dapat berupa gula dalam bentuk murni seperti glukosa, sukrosa, laktosa atau gula yang mengandung bahan seperti molase, whey, gula tebu, bagasse, singkong bagasse, tepung kentang, tapioka, gandum. Mukund G. Adsul, dkk (2007), memproduksi asam laktat dari selulosa ampas tebu dengan menggunakan

proses sakarifikasi dan fermentasi secara simultan menggunakan bakteri *Penicillium janthinellum* dan *Lactobacillus delbrueckii*. Konsentrasi asam laktat maksimum yang didapatkan adalah 67 gr/L dari 80 gr/L selulosa dari ampas tebu. Proses pembuatan asam laktat secara biologis memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sintesis secara kimia yaitu biaya produksi rendah karena beroperasi pada temperatur rendah sehingga konsumsi energi pun rendah. Tanaka, dkk. (2005) melakukan penelitian sintesis asam laktat dengan bahan baku dedak tepung beras berselulosa menggunakan metode sakarifikasi-fermentasi simultan. Percobaan dilakukan pada pH 5 dengan temperatur 37 °C selama 36 jam, dari percobaan dihasilkan 28 kgm⁻³ asam laktat dari 100 kgm⁻³ limbah dedak tepung beras berselulosa. Berdasarkan penelitian diatas, maka pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah TKKS menggunakan metode sakarifikasi-fermentasi simultan untuk mendapatkan asam laktat dengan menggunakan jamur *Trichoderma sp* dan bakteri *Lactobacillus delbrueckii*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

TKKS adalah salah satu produk samping pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Dalam satu hari pengolahan kelapa sawit bisa dihasilkan ratusan ton TKKS. Diperkirakan saat ini limbah TKKS di Indonesia mencapai 20 juta ton. TKKS tersebut memiliki potensi untuk diolah menjadi berbagai macam produk. Komponen bahan padat terbesar TKKS terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin sehingga limbah TKKS ini disebut juga lignoselulosa. Tandan kosong kelapa sawit mengandung selulosa 37,3-46,5 % dan hemiselulosa 25,3-33,8% ([Sudiyani et al., 2013](#)). Melihat kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi, maka tandan kosong kelapa sawit mempunyai potensi yang besar sebagai sumber glukosa, dimana glukosa dapat dikonversikan menjadi asam laktat.

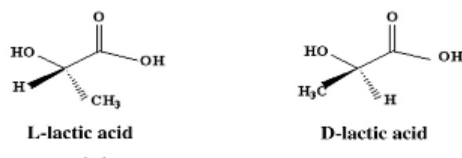


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Asam laktat (2-hydroxypropanoic acid) $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ merupakan asam lemah dengan kemampuan penguapan yang rendah. Asam ini memiliki sebuah atom asimetri, dimana di alam terdapat dalam bentuk D-, L-, dan DL- (Lopes & Jardini, 2012). Asam laktat dapat dihasilkan melalui proses fermentasi atau secara sintesa kimiawi. Fermentasi merupakan metoda yang paling banyak digunakan oleh industri untuk menghasilkan asam laktat. Sekitar 90 % total produksi asam laktat di seluruh dunia dibuat melalui fermentasi oleh bakteri dan sisanya diproduksi secara sintetis melalui hidrolisis lactonitrile. Proses fermentasi untuk mendapatkan asam laktat dapat diklasifikasikan sesuai dengan jenis bakteri yang digunakan (Lopes & Jardini, 2012). Fermentasi bisa berlangsung dengan kondisi anaerob atau aerob (Matsumoto & Taguchi, 2010). Sumber karbon yang digunakan mikroba dalam memproduksi asam laktat dapat berupa gula dalam bentuk murni seperti glukosa, sukrosa, bahan laktosa atau gula yang mengandung molase, whey, ampas tebu, singkong ampas tebu, dan bahan tepung dari ubi, tepung, gandum dan barley. Bahan yang mengandung sukrosa seperti molase biasanya banyak digunakan sebagai bahan baku untuk produksi asam laktat dikarenakan harganya yang murah. Ampas tebu digunakan sebagai bahan baku untuk produksi asam laktat oleh *Rhizopus oryzae* dan *Lactobacillus* dalam fermentasi *solid-state* dengan menambah gula atau pati hidrolisat sebagai sumber karbon.



Gambar 1. Stereoforms dari asam laktat (Lopes & Jardini, 2012)

Bakteri Asam laktat (LAB) dan beberapa jamur berfilamen adalah sumber utama mikroba asam laktat. Organisme yang

terutama menghasilkan isomer L adalah *amylophilus Lactobacilli*, *Lactobacilli bavaricus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus maltaromicus*, dan *Salivarius lactobacilli*. Strain seperti *Lactobacilli*, *Lactobacillus delbrueckii jensenii*, atau *acidophilus Lactobacillus* menghasilkan D-isomer atau campuran dari keduanya. Kisaran pH untuk memproduksi asam laktat adalah 5,4-6,4 dan suhu 38-42°C serta konsentrasi oksigen rendah. Asam L-laktat murni digunakan untuk PLA produksi. Sumber karbon untuk produksi asam laktat dengan menggunakan mikroba dapat berupa gula dalam bentuk murni seperti glukosa, sukrosa, laktosa atau gula yang mengandung bahan seperti molase, whey, gula tebu, bagasse dan singkong bagasse, tepung kentang, tapioka, gandum, hidrolisa selulosa/hemiselulosa. Mikroorganisme yang berperan dalam menghasilkan asam laktat dari berbagai bahan baku dapat terlihat pada Tabel 1 (Madhavan Nampoothiri et al., 2010).

Sintesis asam laktat dapat dilakukan secara bertahap melalui proses hidrolisis dan fermentasi dan juga dapat dilakukan secara simultan atau dikenal dengan sakarifikasi fermentasi-simultan (SSF). SSF adalah proses hidrolisis selulosa secara enzimatik dan fermentasi gula dalam satu tahap sehingga menghasilkan produk akhir berupa asam laktat. SSF menghilangkan proses hidrolisis lengkap substrat sebelum difermentasi. Pada proses SSF, hidrolisis enzimatik, pertumbuhan sel dan produksi mikroba terjadi secara simultan (Zhan, 2007). Pada proses sakarifikasi fermentasi simultan ini kedua proses tersebut berlangsung dalam satu reaktor yang sama. Bakteri secara langsung menfermentasi produk gula yang dihasilkan dari proses hidrolisis oleh kompleks enzim selulase, sehingga laju sakarifikasi dan rendemen asam laktat yang dihasilkan akan lebih tinggi jika dibanding hasil proses sakarifikasi dan fermentasi yang terpisah. Keunggulan lain dari proses sakarifikasi fermentasi simultan adalah penggunaan reaktor tunggal untuk seluruh proses,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

sehingga dapat menekan biaya investasi alat. media tidak mudah terkontaminasi oleh Selain itu adanya asam laktat (hasil fermentasi) didalam media menyebabkan organisme lain yang tidak diinginkan (Ballesteros,2004).

Tabel 1. Mikroorganisme untuk memproduksi asam Laktat ([Madhavan Nampoothiri et al., 2010](#))

Substrat	Mikroorganisme	Asam Laktat
Wheat and rice bran	<i>Lactobacillus sp.</i>	129 g/l
Corn cob	<i>Rhizopus sp.</i> MK-96-1196	90 g/l
Pretreated wood	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	48-62 g/l
Cellulose	<i>Lactobacillus coryniformis ssp. Torquens</i>	0,89 g/g
Barley	<i>Lactobacillus casei</i> NRRLB-441	0,87-0,98
Cassava bagasse	<i>L. delbrueckii</i> NCIM 2025, <i>L casei</i>	0,9-0,98
Wheat starch	<i>Lactococcus lactis ssp. lactis</i> ATCC 19435	0,77-1 g/g
Whole wheat	<i>Lactococcus lactis and Lactobacillus delbrueckii</i>	0,93-0,95 g/g
Potato starch	<i>Rhizopus oryzae, R. arrhizuso</i>	0,87-0,97 g/g
Corn, rice, wheat starches	<i>Lactobacillus amylovorus</i> ATCC	< 0,70 g/g

3. METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian Limbah TKKS yang digunakan berasal dari PT. Kerta Jaya yang berlokasi di Kabupaten Malimping - Banten. Bakteri *Lactobacillus delbrueckii* diperoleh dari Biotekno Laboratorium, Sleman - Yogyakarta. Jamur *Trichoderma pseudokoningii* diperoleh dari BPBPI Bogor - Jawa Barat. N₂ untuk menghilangkan oksigen dalam reaktor anaerob, H₂SO₄ dan NaOH.

Alat Penelitian

Bioreaktor yang digunakan berupa bioreaktor anaerob yang dibuat dari gelas dengan kapasitas 500 mL, ayakan, ball mill.

3.2 Prosedur Percobaan

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap pendahuluan, tahap *pretreatment* dan tahap percobaan utama. Tahap pendahuluan terdiri dari tahap persiapan bahan baku dan analisa kadar selulosa dan lignin TKKS. Tahap *pretreatment* merupakan tahap perombakan lignin. Tahap percobaan utama merupakan tahap proses

sakarifikasi dan fermentasi simultan dengan komposisi bahan yang telah ditentukan.

3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku dan Analisa Karakteristik TKKS

• Tahap persiapan bahan baku.

TKKS dicacah hingga berukuran kecil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C. Setelah kering, digiling dengan menggunakan *ball mill* hingga didapat ukuran - 18 + 40 mesh. Kemudian dianalisa kadar lignin dan selulosa awal.

• Pengujian Kadar Lignin dan Selulosa (Metode Chesson)

1 gr (a) sampel kering ditambahkan 150 mL H₂O, direfluks pada suhu 100 °C selama 1 jam. Hasilnya disaring, residu dicuci dengan air panas (300 mL). Residu kemudian dikeringkan dengan oven sampai konstan kemudian ditimbang (b). Residu ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N kemudian direfluks selama 1 jam suhu 100 °C. Hasilnya disaring sampai netral (300 mL) dan dikeringkan (c). Residu kering ditambahkan 10 mL H₂SO₄ 72% dan direndam pada suhu kamar selama 4 jam. Ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N dan direfluks pada water bath selama 1 jam pada pendingin



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

balik. Residu disaring dan dicuci dengan H₂O sampai netral (400 mL) kemudian dipanaskan dengan oven dengan suhu 105 °C dan hasilnya ditimbang (d)

Perhitungan untuk mencari kadar selulosa adalah :

$$\text{Kadar selulosa} = \frac{c - d}{a} \times 100\%$$

Perhitungan untuk mencari kadar lignin adalah:

$$\text{Kadar lignin} = \frac{d}{a} \times 100\%$$

3.2.2 Tahap Pretreatment

100 gram serbuk TKKS ditambahkan dengan air 10% w/w dan NaOH 10% w/w dipanaskan dengan temperatur 140 – 145 °C selama 30 menit. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan air dan dilakukan pemisahan antara padatan dan air dengan menggunakan *vacuum filter*. TKKS yang telah di *pretreatment* ditambahkan air dan dilakukan netralisasi dengan menggunakan H₂SO₄ 97% sampai pH 7–9, setelah itu dilakukan sterilisasi dengan pemanasan 80°C selama 1 jam.

3.2.3 Tahap Percobaan Utama

100 gr serbuk TKKS dan air dengan perbandingan 1:1 dimasukkan ke dalam reaktor *batch* anaerob. Kemudian tambahkan jamur *Trichoderma pseudokoningii* 2,5 gram dan inokulum cair bakteri *L. delbrueckii* ditambahkan dengan variasi volume 0,25 ; 0,5 ; 1,5 ; dan 2,5 ml dengan waktu inkubasi 5 hari. Setiap 24 jam dilakukan analisa pH dan

kadar asam laktat yang telah terbentuk menggunakan *High Pressure Liquid Chromatography* (HPLC), dan analisa gugus fungsi produk fermentasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Merk Perkin Elmer 1000 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik TKKS

Hasil pengujian kadar selulosa dan lignin TKKS didapatkan karakteristik TKKS yang digunakan mengandung 41,5 % selulosa dan 30% lignin. Karakteristik kimia TKKS yang paling penting untuk pembuatan asam laktat adalah selulosa. Semakin tinggi kandungan selulosa pada bahan, akan semakin baik untuk bahan baku pembuatan asam laktat.

Konsentrasi Asam Laktat

Proses sakarifikasi fermentasi-simultan adalah proses kombinasi antara hidrolisis selulosa secara enzimatik dengan fermentasi gula yang berkelanjutan sehingga menghasilkan produk akhir berupa asam laktat. Pada proses sakarifikasi fermentasi simultan, kedua proses berlangsung dalam satu reaktor *batch* anaerob sehingga kinerja bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dalam proses fermentasi bergantung pada nutrisi berupa glukosa hasil hidrolisis selulosa oleh jamur *Trichoderma sp.* Analisa konsentrasi asam laktat dilakukan menggunakan *High Pressure Liquid Chromatography* (HPLC). Konsentrasi asam laktat dari fermentasi TKKS yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2 Hasil fermentasi asam laktat

Hari	Volume <i>Lactobacillus delbrueckii</i>							
	0.25ml		0.5 ml		1.5 ml		2.5 ml	
	pH	As. Laktat (ppm)	pH	As.laktat (ppm)	pH	As.laktat (ppm)	pH	As.laktat (ppm)
0	8	-	8	-	8	-	8	-
1	8	2,147	8	17,731	7	49,701	8	2,986
2	8	0,861	8	11,534	7	41,362	8	0,980
3	7	2,139	7	7,9	7	24,351	8	0,820
4	7	1,384	7	5,087	7	15,608	8	2,914
5	7	1,575	7	11,854	7	15,910	8	0,456

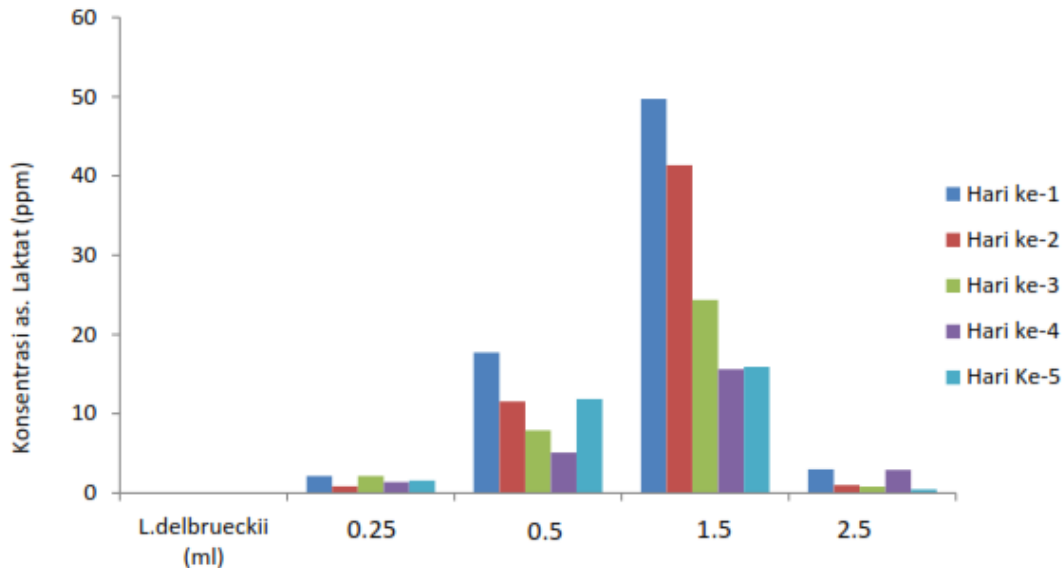


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Dari Tabel 2 hasil pengamatan diatas seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah ini. dapat ditampilkan dalam bentuk grafik



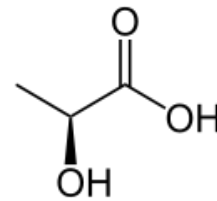
Gambar 2. Konsentrasi asam laktat hasil fermentasi selama 5 hari

Konsentrasi asam laktat yang dihasilkan dari keempat variasi jumlah *L.delbrueckii* yang dilakukan didapatkan konsentrasi tertinggi pada pemberian *L.delbrueckii* 3% pada fermentasi selama 1 hari yaitu 49,7 ppm. Pada hari ke-2 sampai hari ke-5 terjadi penurunan konsentrasi asam laktat. Penurunan konsentrasi asam laktat setelah difermentasi lebih dari 1 hari disebabkan karena kecepatan produksi gula dari selulosa oleh jamur *Trichoderma sp.* lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan penggunaan gula menjadi asam laktat oleh bakteri *Lactobacillus delbrueckii*, sehingga sebagian mikroorganisme memanfaatkan asam laktat sebagai *secondary* substrat dan menghasilkan senyawa lain yang dapat menjadi inhibitor mikroba. Produksi asam laktat sangat bergantung pada pH sistem. Menurut Zhan, et al (2005), pH untuk berlangsungnya SSF yang optimal adalah 6-6,5. *Lactobacillus delbrueckii* akan tumbuh dan menghasilkan asam laktat pada pH

5.5-7.5 (Solange, dkk, 2008). Pada saat berlangsungnya proses SSF, pH berkisar antara 7-8.

Analisa Gugus Fungsi Produk Fermentasi

Asam laktat merupakan asam karboksilat yang mengandung gugus hidroksil yang menempel pada gugus karboksil, mempunyai rumus bangun seperti Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kimia asam laktat

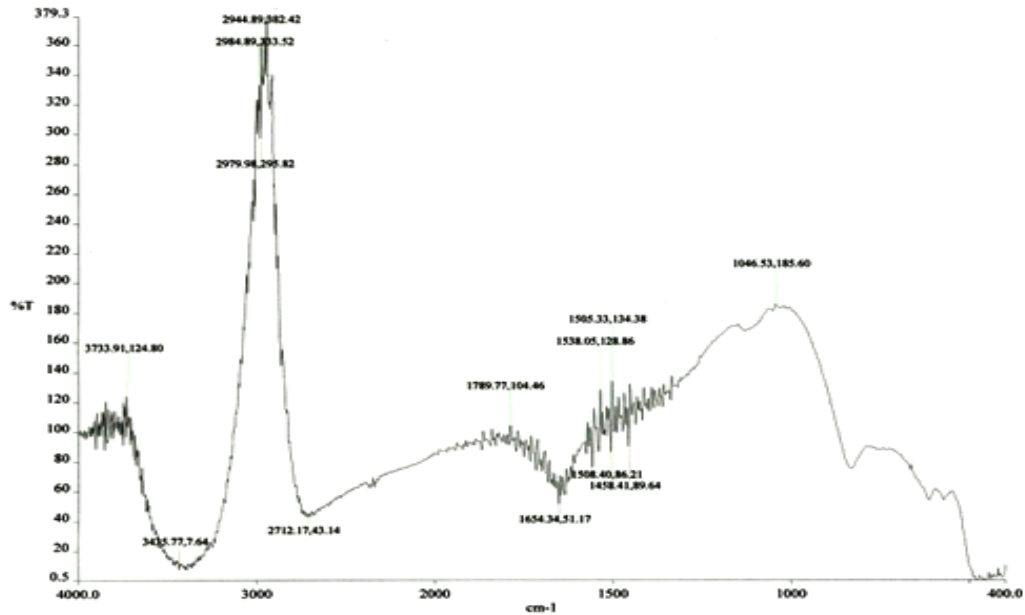
Analisa gugus fungsi produk fermentasi dilakukan dengan menggunakan spektroskopi FTIR. Produk fermentasi yang diuji tidak dilakukan pemisahan asam laktat dari senyawa lainnya. Hasil uji spektroskopi FTIR terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 4. Spektrum infra merah dari sampel dengan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* 3 %

Untuk asam karboksilat, ikatan O-H dalam golongan asam muncul pada peak 2500-3300 cm^{-1} , sedangkan yang terikat pada rantai pada peak 3230-3550 cm^{-1} . Penggabungan peak ini memberikan daerah yang sangat besar 2500-3550 cm^{-1} . Gugus C=O akan mengalami absorbansi pada peak 1740-1800 cm^{-1} dan absorbansi gugus C-O pada 1075-1190 cm^{-1} . Pada Gambar 4 terlihat bahwa adanya ikatan OH pada peak 3425 cm^{-1} , C=O pada peak 1754 cm^{-1} , dan ikatan C-O pada peak 1045 cm^{-1} . Berdasarkan hasil uji gugus menggunakan FTIR didapatkan bahwa hasil fermentasi mengandung senyawa asam yang menyerupai gugus asam laktat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mengandung kadar selulosa yang tinggi dan berpotensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan asam laktat. Konsentrasi asam laktat tertinggi menggunakan proses SSF, dihasilkan pada penambahan 1,5 ml *Lactobacillus delbrueckii* yaitu sebesar 49,701 ppm. Konsentrasi asam laktat yang dihasilkan pada penelitian ini masih sangat kecil dikarenakan proses

berlangsung pada pH yang tidak optimal untuk pertumbuhan bakteri dan produksi asam laktat.

4.2 SARAN

Kontrol pH pada saat awal dan selama proses SSF berlangsung perlu dilakukan sesuai dengan pH optimal pertumbuhan bakteri yang digunakan. Perlu dilakukan sterilisasi yang optimal pada substrat yang digunakan agar hasil fermentasi sesuai dengan produk yang diinginkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ballesteros M, Olivia JM, Negro MJ, Manzanares P, Ballesteros I, 2004. Ethanol from Lignocellulosic Material by a Simultaneous Saccharification and Fermentation Process (SFS) with *Kluyveromyces Marxianus* CECT 10875 Process Biochemistry (39) : 1843-1848
- Bibiana, W. L. 1994 . *Analisis Mikroba di Laboratorium* . Jakarta : PT Raja Grafindo Perseda.
- Casey JP. 1980. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Third Edition , Vol. I. John Wiley and Sons, New York.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- Cowling EB. 1975., Physical and Chemical constraints in the hidrolysis of cellulose and lignocellulosic materi als. *Biotech. Bioeng, Symp.* 5 :163-181.
- Loebis, Enny Hawani. 2008. *Optimasi Proses Hidrolisis Kimiawi dan Enzimatis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa Untuk Produksi Etanol*. IPB. Bogor.
- Lopes, M Savioli, & Jardini, AL. (2012). Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications. *Procedia Engineering*, 42, 1530-1542.
- Madhavan Nampoothiri, K, Nair, Nimisha Rajendran, & John, Rojan Pappy. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource technology*, 101(22), 8493-8501.
- Matsumoto, Ken'ichiro, & Taguchi, Seiichi. (2010). Enzymatic and whole-cell synthesis of lactate-containing polyesters: toward the complete biological production of polylactate. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 921-932.
- Mukund,G.A, Anjani J.V, Gokhale. (2007). Lactic acid production from waste sugarcane baggase derived cellulose. *Green Chemistry*, 2007, 9, 58-62.
- Nuryanto, eka(2000), *Isolasi dan Degradasi Lignin dari lindi hitam pulp tandan kosong sawit secara kimia*, tesis magister kimia. ITB Press.Bandung.
- Papaviizas GC. 1985. *Trichoderma and Gliocladium* : ecology and potential for biocontrol, *Ann.Rev. Phytapathology*, 23 : 3-54.
- Peni SP. 1995. Tandan Sawit untuk kertas kraft. *Trubus*. 311 : 52-54
- PT. Media Data Riset, 2001. <http://www.scribd.com/doc/140145835/Daftar-Peraturan-Perkebunan-Di-Indonesia-2011>
- Pusat Data dan Informasi Departemen Perindustrian. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*. Jakarta
- Sudiyani, Yanni, Styarini, Dyah, Triwahyuni, Eka, Sembiring, Kiky C, Aristiawan, Yosi, Abimanyu, Haznan, & Han, Min Hee. (2013). Utilization of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber of Palm Oil for Bioethanol Production Using Pilot-Scale Unit. *Energy Procedia*, 32, 31-38.
- Tanaka, dkk. 2005. *Production of D-lactic acid from defatted rice bran by simultaneous saccharification and fermentation*. Jepang : Elsevier
- Zhan, ZY, Bo Jin, Joan,MK.(2007). Production of lactic acid from renewable materials by *Rhizopus* fungi. *Biochemical Engineering Journal* 35, 251-263



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN PROSES TOREFAKSI TERHADAP KUALITAS PRODUK TOREFAKSI KULIT DURIAN

Anton Irawan^{1*}, Fitri Setiani, Ichsan Putu Wijoyo

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jalan Jendral Soedirman Km 3 Cilegon Banten

*Email : anton11975@yahoo.com

Abstrak

Terbatasnya bahan bakar fosil dari minyak bumi menyebabkan pemerintah perlu melakukan diversifikasi energi. Salah satu diversifikasi energi adalah pengembangan energi baru terbarukan termasuk bioenergi. Biomassa merupakan salah satu yang berpotensi sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan melimpah. Salah satu kekurangan dari biomassa sebagai bahan bakar adalah kandungan air yang tinggi serta kandungan air yang rendah. Limbah kulit durian sebagai salah satu biomassa dapat dijadikan bahan bakar bio dengan perlakuan awal untuk meningkatkan kualitas. Salah satu perlakuan awal biomassa adalah proses torefaksi yang dapat meningkatkan kandungan energi serta keseragaman kualitas biomassa. Proses torefaksi sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku serta kondisi operasi torefaksi. Kondisi proses torefaksi dilakukan pada temperatur 200 - 300°C dengan waktu tahan antara 10 - 60 menit. Pada penelitian ini diamati pengaruh temperatur dan waktu tahan proses torefaksi terhadap kualitas kulit durian hasil torefaksi. Temperatur torefaksi dilakukan pada temperatur 200°C, 250°C dan 300°C serta waktu tahan 15 dan 30 menit. Selanjutnya, produk torefaksi kulit durian dianalisa secara proksimat serta nilai kalor. Dari hasil analisa proksimat didapatkan kondisi optimal temperatur torefaksi 200°C serta waktu tahan temperatur torefaksi 15 menit dengan nilai kalor 6037 cal/g.

Kata kunci : biomassa, torefaksi, waktu tahan, analisa proksimat, nilai kalor
value

Abstract

The limited fossil fuels from petroleum, natural gas and petroleum led the government needs to diversify energy. One of the energy diversification is the development of renewable energy, including bio-energy. Biomass is one of the potential energy source due to environmentally friendly and abundant. However, biomass has the disadvantage that the low energy content and the quality is not uniform. Durian peel waste as one of the biomass can be used as bio-fuels by early treatment to improve quality. One of the pre-treatment of biomass is a torrefaction process that can improve energy content and uniformity the quality of the biomass. The torrefaction process is strongly influenced by the characteristics of the raw material and operating conditions of torrefaction. The condition of the torrefaction process carried out at a temperature of 200-300°C with holding time of 10-60 minutes. In this study observed the effect of temperature and holding time on the quality of the durian peel torrefaction product. Torrefaction temperature performed at various temperatures 200°C, 250°C and 300°C and holding time 15 and 30 minutes. Further more, the torrefaction products were analyzed proximate and calorific value. From the results of the proximate analysis that the optimum conditions of 200°C torrefaction temperature and temperature holding time 15 minutes with a calorific value of 6037 cal/g.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Keywords : biomass, torrefaction, hold time, proximate analysis, calorific value

1. 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 peraturan presiden tersebut diperkuat dengan Visi Energi Nasional bahwa 25 % sumber energi nasional pada tahun 2025 berasal dari Energi Baru Terbarukan (EBT) termasuk biomassa. Dengan APBN yang berat untuk subsidi bahan bakar minyak (BBM) maka perlu digalakan untuk mencari sumber-sumber energi terbarukan seperti biomassa dalam kerangka memperkuat kemandirian energi di seluruh wilayah Indonesia serta mengurangi subsidi BBM. Biomassa dapat diproses menjadi energi melalui beberapa proses seperti pembriketan, gasifikasi dan pembakaran langsung. Pemanfaatan biomassa termasuk kulit durian memiliki kendala yaitu sumber biomassa yang tersebar, kualitas biomassa yang berbeda-beda, nilai kalor biomassa yang rendah serta transportasi biomassa yang sulit (Uemura, 2011). Dengan jumlah biomassa yang besar dan bergantung dengan musim durian maka perlu pengolahan awal dari biomassa kulit durian untuk menjaga kualitas bahkan meningkatkan kualitas. Kualitas biomassa kulit durian dapat dijaga dengan mengubah karakteristik biomassa dari sifat mudah menyerap air (hidrofil) menjadi sifat sulit menyerap air (hidrofobia) melalui proses torefaksi. Torefaksi (*torrefaction*) merupakan teknologi pengolahan awal biomassa melalui suatu proses termal tanpa oksigen pada temperatur rendah sekitar 200-300°C (Van der Stelt, 2011). Komposisi 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 (Van der Stelt, 2011).

Biomassa tersusun atas beberapa komponen-komponen polimer dibagi dalam 3 komponen polimer utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin serta dinamakan lignoselulosa. Komponen-komponen dari biomassa tersebut mempunyai karakteristik dan kandungan yang berbeda-beda. Kandungan terbesar dari biomassa adalah selulosa sekitar 40-45 % kemudian hemiselulosa sekitar 20-30% serta sisanya sekitar 18-25 % adalah lignin (Basu., P., 2010). Hemiselulosa memiliki sifat non-kristalin dan bukan serat, mudah mengembang, larut dalam air, sangat hidrofilik, serta mudah larut dalam alkali. Kandungan hemiselulosa yang tinggi memberikan kontribusi pada ikatan antar serat, karena hemiselulosa bertindak sebagai perekat dalam setiap serat tunggal. Hemiselulosa akan terkonversi menjadi lebih banyak gas dan lebih sedikit tar dibandingkan dengan selulosa (Basu., P., 2010). Selulosa tidak larut dalam air, tetapi larut dalam larutan kuprik hidroksida berammonia (bahan uji Schweitzer). (Basu., P., 2010) Lignin merupakan zat organik yang mengikat sel-sel, serat dan pembuluh darah. Berbeda dengan selulosa yang terbentuk dari gugus karbohidrat, struktur kimia lignin sangat kompleks dan tidak berpola sama (Basu., P., 2010). Pada saat mengalami pemanasan, komponen hemiselulosa (xylan) akan lebih cepat mengalami degradasi pada temperature sekitar 225-325°C, kemudian selulosa terdegradasi pada temperatur 305-375°C dan lignin pada temperatur 250-500°C (Prins, 2006). Hemiselulosa lebih cepat terdegradasi dibandingkan dengan komponen selulosa atau lignin (Gambar 1) pada temperatur sekitar 200-300°C. Maka proses torefaksi pada temperatur sekitar 200-300°C berfungsi untuk menghancurkan polimer hemiselulosa

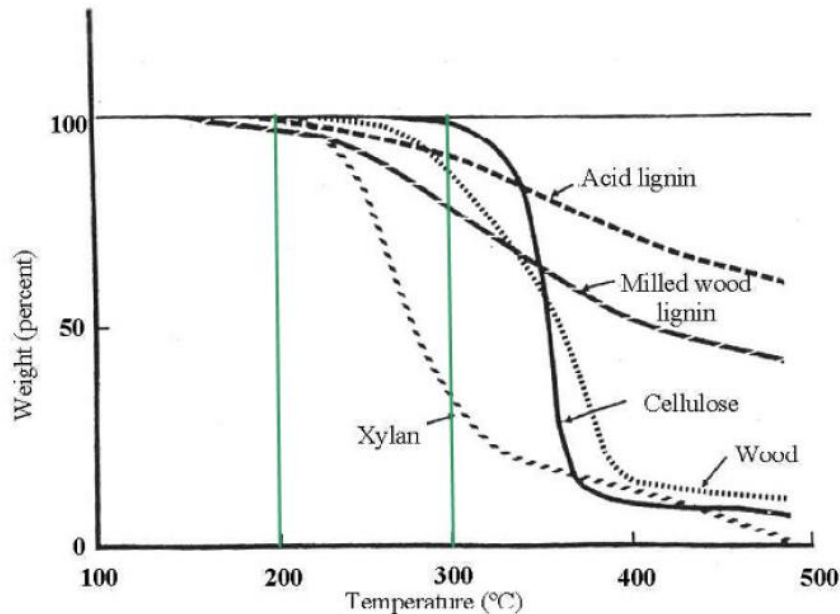


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

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)

Proses torefaksi pada biomassa melalui beberapa tahapan proses secara *batch* yaitu pengeringan, pemanasan, torefaksi dan pendinginan. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada biomassa pada temperatur sekitar 110°C yang dilanjutkan pada proses pemanasan internal hingga temperatur sekitar 200°C. Proses pengeringan dan pemanasan dilakukan pada laju pemanasan tidak melebihi 50°C/menit. Kemudian dilanjutkan torefaksi dari temperatur 200 hingga 300°C dijaga pada waktu tertentu. Lamanya waktu untuk menahan temperatur tetap sekitar 200-300°C dinamakan waktu tahan proses torefaksi sekitar 15 - 60 menit. Waktu reaksi torefaksi merupakan penjumlahan antara waktu pemanasan dalam proses torefaksi ($t_{\text{tor,heat}}$) dengan waktu tahan proses torefaksi (t_{tor}). Kinetika proses torefaksi dipengaruhi oleh waktu reaksi torefaksi (menit), temperatur

proses torefaksi (°C) serta ukuran partikel (mm) dari biomassa yang mengalami proses torefaksi (Bergman, 2005).

2. METODE PENELITIAN

Pemilihan kulit durian lokal Banten sebagai bahan baku briket merupakan sebuah langkah diversifikasi sumber EBT dengan mengangkat kearifan pribumi. Pengaruh kondisi temperatur dan waktu tahan torefaksi terhadap kualitas produk kulit durian tertoreaksi ini belum diketahui sehingga memerlukan penelitian dan karakterisasi sebagai bahan baku biobriket. Limbah kulit durian lokal Banten dikumpulkan secara *random sampling* dari pedagang. Kemudian, kulit durian dipisahkan antara kulit luar dengan kulit bagian dalam. Kulit luar durian dicacah kemudian dikeringkan dengan penjemuran matahari selama 10 jam. Setelah



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

proses preparasi bahan baku selesai, dilakukan proses torefaksi pada suhu 200 – 300° C dengan waktu tahan torefaksi 15 dan 30 menit di dalam reaktor torefaksi (Gambar 2). Produk yang dihasilkan kulit durian yang telah kehilangan kadar air dan unsur *volatile matter*. Kulit durian tertorefaksi ini dianalisa

secara proksimat. Tabel 1 menunjukkan karakteristik awal dari kulit durian sebelum dilakukan proses torefaksi. Nilai kalor dari kulit durian sebesar 3800 kkal/kg dan proses torefaksi akan meningkatkan nilai kalor dari biomassa kulit durian.

Tabel 1.Karakteristik Awal dari Kulit Durian

No	Parameter	Hasil
1	Kerapatan jenis (<i>bulk density</i>)	1000-2000 kg/m ³
2	Konduktivitas termal	0,5-1 W/m.K
3	Kandungan kalor	3802 kkal/kg
4	<i>Moisture Content</i>	7,6-11,81 %
5	<i>Ash</i>	1,04-16,97 %
6	<i>FixedCarbon</i>	5,30-14,49 %
7	<i>Volatile Matter</i>	67,08-82,43 %



Gambar 2. Reaktor Torefaksi Dilengkapi dengan Timbangan dan Pengendali Temperatur



Seminar Nasional Intergrasi Proses

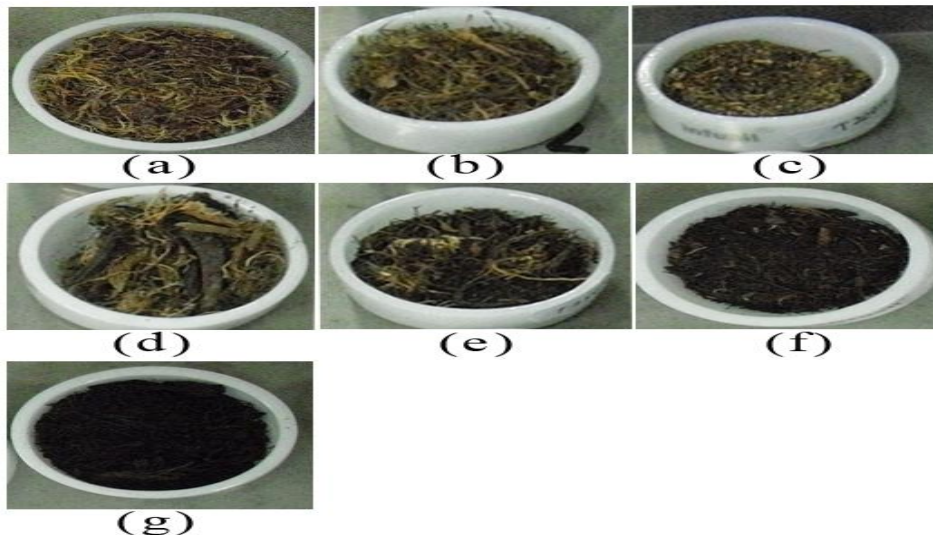
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

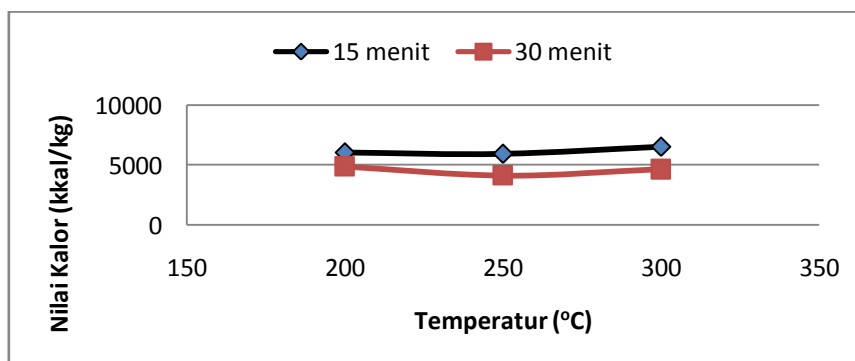
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan tampilan fisik bahan baku dan produk kulit durian tertorefaksi. Gambar 3.a hingga 3.g memiliki perbedaan warna yang cukup jelas teramati. Warna bahan baku kulit durian pada gambar 3.a adalah kuning keemasan dan berwujud serabut halus. Gambar 3.g berwarna coklat paling gelap dan terdapat bercak keabu-abuan yang merupakan indikasi bahwa produk telah kehilangan zat terbang sehingga tinggal arang dan abu. Semakin tinggi temperatur operasi dan semakin lama waktu tahan maka warna sampel kulit durian akan semakin coklat gelap hingga kehitaman.

Parameter lain dari proses pengolahan biomassa secara torefaksi adalah kenaikan nilai kalor dari biomassa. Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai kalor dari kulit durian mengalami kenaikan dari kondisi awal sekitar 3800 kkal/kg menjadi 4000 – 6400 kkal/kg. Terlihat bahwa proses torefaksi dapat meningkatkan kualitas biomassa kulit durian. Nilai tertinggi dari kalor kulit durian produk torefaksi terjadi pada temperatur 300°C dan waktu tahan torefaksi 15 menit. Pada waktu tahan proses torefaksi 30 menit, nilai kalor menurun karena sebagian besar zat terbang yang memiliki kandungan energi juga keluar dari pori – pori biomassa kulit durian.



Gambar 3.Warna dari Bahan Baku dan Produk Torefaksi Kulit Durian; (a) Bahan baku; (b) Temperatur 200°C, Waktu Tahan 15 Menit; (c) Temperatur 200°C, Waktu Tahan 30 Menit; (d) Temperatur 250°C, Waktu Tahan 15 Menit; (e) Temperatur 250°C, Waktu Tahan 30 Menit; (f) Temperatur 300°C, Waktu Tahan 15 Menit; (g) Temperatur 300°C, Waktu Tahan 30 Menit;



Gambar 4. Pengaruh Temperatur Torefaksi Terhadap Nilai Kalor Produk Torefaksi dengan Variasi Waktu Tahan Proses Torefaksi 15 dan 30 menit.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014*

4. SIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini disimpulkan bahwa peningkatan temperatur dan waktu tahan torefaksi akan merubah warna menjadi lebih hitam. Kemudian nilai kalor tertinggi dicapai pada temperatur tinggi dengan waktu tahan yang singkat. Peningkatan waktu tahan akan menghilangkan zat terbang yang mengandung energi dari biomassa kulit durian sehingga nilai kalor menjadi lebih rendah dibandingkan dengan waktu tahan torefaksi yang lebih singkat (15 menit). Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menganalisa kandungan polimer dan kemampuan menyerap dari produk torefaksi kulit durian.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Basu, P., *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction. Practical Design and Theory*, Elsevier Inc, 2013
- Bergman, P.C.A., 2005. *Combined Torrefaction and Pelletisation*. ECN Report, ECN-C-05-073
- Prins, M.J., Ptasiniski, K.J., Janssen, F.J.J.G., *Torrefaction of wood Part 1. Weight loss kinetics*. Elsevier, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2006, 77, 28-34
- Uetmura, Y., Omar, W.N., Tsutsui, T., Yusuf, S.B., *Torrefaction of oil palm waste*. Elsevier, *Fuel*, 2011, 90, 2585-2591
- Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., Ptasiniski, K.J, *Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review*. Elsevier, *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35, 3748-3762



POTENSI KULIT KERANG SEBAGAI BAHAN PENGISI TERHADAP KARAKTERISTIK CURRING DAN SIFAT FISIK PRODUK KARET ALAM

Tuti Indah Sari^{1*)}, A. Rasyidi Fachry, Sthevanie, Susi Susanti, Martha Ria, Aristia Alisandi

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Jln. Raya Palembang Prabumulih Km. 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662

*E-mail: ty_indahsari@yahoo.co.id

Abstrak

Kulit kerang berpotensi sebagai bahan pengisi non aktif pada kompon karet karena mengandung kalsium karbonat yang cukup tinggi. Studi ini mempelajari pengaruh penambahan bahan pengisi kulit kerang terhadap karakteristik proses *curing* dan sifat mekanis karet vulkanisat dengan membuat dua produk karet vulkanisat. Produk A yaitu karet vulkanisat sol sepatu olahraga dengan bahan pengisi variasi campuran kulit kerang dan silika. Produk B yaitu karet vulkanisat bantalan kaki sepeda motor dengan bahan pengisi variasi campuran kulit kerang dan *carbon black*. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan kulit kerang semakin meningkatkan *curing time* dan *scorch time* untuk kedua produk. *Curing time* yang besar tidak begitu menguntungkan dalam produksi karet vulkanisat namun sebaliknya *scorch time* yang besar akan menguntungkan dalam penyimpanan karet vulkanisat. Dari beberapa sifat fisik yang diujikan, penambahan kulit kerang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap *hardness* dan *tear strength*, namun menunjukkan peningkatan terhadap *tensile strength* dan menurunkan ketahanan abrasi. Komposisi produk A yang baik adalah komposisi campuran bahan pengisi silika 30 phr (*part per hundred rubber*) dan kulit kerang 30 phr dengan *hardness* sebesar 53 Shore A, *tensile strength* sebesar 18,63 N/mm², *tear strength* sebesar 12,75 N/mm², dan ketahanan abrasi sebesar 439 mm³ (SNI 06-1884-1990). Komposisi produk B yang baik adalah komposisi campuran bahan pengisi carbon black 75 phr dan kulit kerang 25 phr dengan *hardness* sebesar 54 Shore A, *tensile strength* sebesar 52 N/mm², *tear strength* sebesar 12 N/mm², dan ketahanan abrasi sebesar 471 mm³ (SNI 06-7032-2004).

Kata kunci : kulit kerang, *curing*, karet alam, sifat fisik

Abstract

Potential clamshells as fillers in vulcanized rubber because calcium carbonate content. The research on the addition clamshells as a filler that influences the curing characteristics and physical properties of vulcanized rubber. Product A is rubber vulcanizates with filler of mixture clamshell and silica. Product B is rubber vulcanizates with filler of mixture clamshell and carbon black. The results indicated that the addition of clamshell decrease the curing time and scorch time for the both products. The low value of curing time is advantage in the production of vulcanized rubber however the low value of scorch time is disadvantage in storage of rubber vulcanizates. Physical properties of rubber vulcanizates such as hardness, tensile strength, tear strength, and abrasion resistance were also measured. The addition of clamshell does not significantly affect hardness and tear strength, while tensile strength tended to increase and abrasion resistance tended to decrease. However, magnesium oxide and silica content in clamshell take effect in the vulcanization characteristics and physical properties of the compound.

Keywords: clamshell, cure characteristic, natural rubber, scorch time



Seminar Nasional Integrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. PENDAHULUAN

Kulit kerang berpotensi untuk menjadi bahan pengisi pada pembuatan produk dari karet alam karena memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang cukup tinggi. Seperti yang telah dipelajari pada pembuatan produk dari lateks (Yuniati, 2010). Hasil pola difraksi sinar X diketahui bahwa kulit kerang pada suhu di bawah $500\text{ }^\circ\text{C}$ tersusun atas CaCO_3 pada fase aragoniten dengan struktur kristal orthorombik. Pada suhu di atas $500\text{ }^\circ\text{C}$ berubah menjadi fase *calcite* dengan struktur kristal hexagonal (Simamora, 2012). Menurut Siregar, 2009, kandungan kalsium pada kulit kerang adalah sebesar 66,70% (Siregar, 2009).

Bahan pengisi adalah salah satu dari bahan-bahan kimia penyusun yang digunakan pada proses pembuatan kompon karet yang mempengaruhi sifat mekanis/fisik kompon karet (Cifriadi & Maspanger, 2005). Berdasarkan sifat kekuatannya bahan pengisi dibagi atas dua golongan, yaitu bahan pengisi penguat (*reinforcement*) dan bahan pengisi bukan penguat (*non reinforcement*). Bahan pengisi penguat biasanya digunakan untuk meningkatkan sifat fisik dan karakteristik vulkanisasi. Bahan pengisi bukan penguat biasanya ditambahkan bersama-sama dengan bahan pengisi aktif seperti *carbon black* dan silika pada pembuatan kompon karet hanya sebagai tambahan dan tidak berpengaruh pada sifat fisik dan karakteristik vulkanisasi (Mark, Erman, & Roland, 2013). Namun, pada beberapa penelitian yang dilakukan menjelaskan bahwa bahan pengisi bukan penguat seperti CaCO_3 yang dapat juga berpengaruh pada sifat fisik kompon karet (Sipahutar, 2011); (Ngamsurat, Boonkerd, Leela-adisorn, & Potiyaraj, 2011); (Sulistiono, 2012) dan (Moonchai & Moonchai, 2013).

Penelitian ini menggunakan kulit kerang dari kerang darah atau *seashell blood* (*Anadara granosa*) sebagai bahan pengisi non

aktif. Sebagai perbandingan digunakan dua jenis bahan pengisi aktif yaitu *carbon black* dan silika. Variasi yang dilakukan adalah variasi komposisi campuran kulit kerang dan silika, dan campuran kulit kerang dan *carbon black*. Kompon karet yang dibuat ada dua jenis kompon sebagai perbandingan untuk melihat karakteristik vulkanisasi dan sifat fisiknya. Karakteristik vulkanisasi yang diamati adalah *scorch time*, waktu vulkanisasi dan kecepatan vulkanisasi. Sifat fisik yang dipelajari adalah *hardness*, kuat tarik, kuat sobek dan ketahanan abrasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk penyiapan campuran meliputi peralatan untuk pembuatan kompon karet, yaitu *Open Roll Mill*, dengan diameter roll 18 cm dan panjang roll 40 cm (kapasitas 1 kg). Pengujian sifat fisika yang diamati adalah kekerasan satuan Shore A, menggunakan alat *Durometer Shore*, kuat tarik dan kuat sobek dengan satuan kg/cm^2 , menggunakan alat *tensometer* dengan kecepatan tarik 500 ± 50 mm/menit, ketahanan abrasi, mm³, menggunakan alat *DIN Abrader* dan karakteristik vulkanisasi menggunakan *Oscilating Disk Rheometer* (ODR).

Penelitian dilakukan dengan pembuatan dua jenis kompon yaitu kompon A yaitu kompon dengan bahan pengisi kulit kerang dan silika dan kompon B dengan bahan pengisi kulit kerang dan *carbon black*. Variasi yang dilakukan adalah pengaturan komposisi kulit kerang dan silika, dan komposisi kulit kerang dan *carbon black* (tabel 1 dan tabel 2). Pengaruh yang diamati adalah karakteristik vulkanisasi meliputi *scorch time* dan waktu vulkanisasi dan sifat mekanis yang diamati meliputi *hardness*, kuat tarik, kuat sobek dan ketahanan abrasi.


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Tabel 1. Komposisi bahan kompon dengan variasi bahan pengisi kulit kerang dan silika (kompon A)

No.	Bahan	Sampel (phr ^a)				
		1	2	3	4	5
1.	Karet alam <i>Rubber Smoke Sheet</i> (RSS)	100	100	100	100	100
2.	<i>Zinc Oxide</i> (ZnO)	5	5	5	5	5
3.	Asam stearat	2	2	2	2	2
4.	Kulit kerang	0	15	30	45	60
5.	Silika	60	45	30	15	0
6.	<i>Minarex oil</i>	10	10	10	10	10
7.	<i>2,2-Dithiobisbenzothiazole</i> (MBTS)	2	2	2	2	2
8.	<i>Diphenylguanidine</i> (DPG)	2	2	2	2	2
9.	<i>N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine</i> (IPPD)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
10.	<i>2,2, 4-trimethyl-1,2- dihydroquinoline</i> (TMQ)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
11.	Sulfur	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Keterangan: ^a)part per hundred rubber (phr)

Tabel 2. Komposisi bahan kompon dengan variasi bahan pengisi kulit kerang dan *carbon black* (kompon B)

No.	Bahan	Sampel (phr ^a)				
		1	2	3	4	5
1.	Karet alam <i>Rubber Smoke Sheet</i> (RSS)	100	100	100	100	100
2.	<i>Zinc Oxide</i> (ZnO)	5	5	5	5	5
3.	Asam stearat	2	2	2	2	2
4.	Kulit kerang	0	15	30	45	60
5.	<i>Carbon black</i> N330	60	45	30	15	0
6.	<i>Minarex oil</i>	10	10	10	10	10
7.	<i>2,2-Dithiobisbenzothiazole</i> (MBTS)	2	2	2	2	2
8.	<i>Diphenylguanidine</i> (DPG)	2	2	2	2	2
9.	<i>N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine</i> (IPPD)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
10.	<i>2,2, 4-trimethyl-1,2- dihydroquinoline</i> (TMQ)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
11.	Sulfur	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Keterangan: ^a)part per hundred rubber (phr)

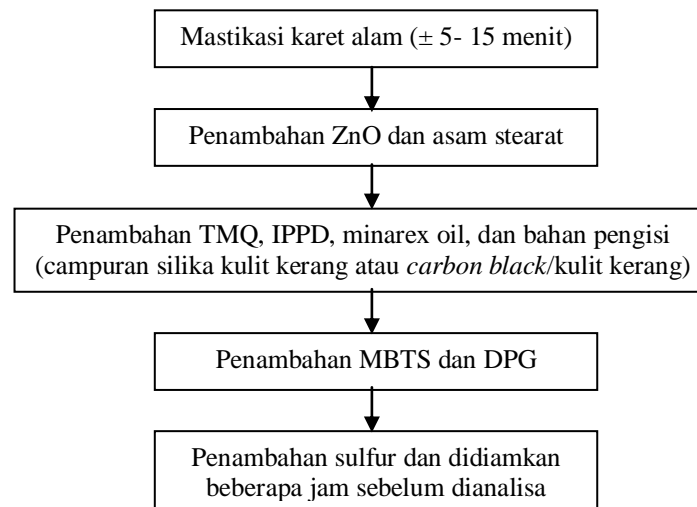


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Proses pembuatan kompon dilakukan Dengan tahapan sebagai berikut (gambar 1).



Gambar 1. Tahapan proses pembuatan kompon (Fachry, Sari, Putra, & Kristianto, 2012)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakteristik vulkanisasi dari kompon A dan B diperlihatkan pada tabel 3. Tabel 3 memperlihatkan minimum dan

maksimum torsi (ML dan MH), TC10 yang merupakan *scorch time* dan TC90 yang merupakan *optimum curing* (Dick, Sumpter, & Ward, 1998).

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Vulkanisasi dari Kompon A dan B pada temperatur 150 °C

Pengujian	Kompon A					Kompon B				
	ML, kg.cm	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
MH, kg.cm	17,49	14,61	12,04	12,5	11,34	10,06	17,87	16,35	12,76	10,07
TC10, menit	10,00	5,27	5,03	5,06	2,53	15,30	14,07	10,27	10,75	9,98
TC90, menit	18,25	11,53	10,00	10,0	6,75	29,25	23,50	14,97	15,15	16,60

Untuk mendapatkan waktu dan kecepatan vulkanisasi berdasarkan persamaan 1 dan 2 di bawah ini (Choi, 2004) dan (Hasan, Sulisty, & Honggokusumo, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Waktu vulkanisasi} \\ &= (\text{optimum curing} \\ &\quad - \text{scorch time}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan vulkanisasi} \\ &= \frac{(\text{maximum torsi} - \text{minimum torsi})}{(\text{optimum curing} - \text{scorch time})} \dots (2) \end{aligned}$$

Pengaruh Penambahan Kulit Kerang terhadap Scorch Time, Waktu dan Kecepatan vulkanisasi

Scorch time mengindikasikan periode kompon karet dapat diproses pada temperatur yang diberikan sebelum vulkanisasi. Semakin besar *scorch time* adalah semakin menguntungkan untuk kompon karet, karena memiliki waktu yang lama dalam penyimpanan sampai saatnya proses cetak produk. Pengaruh penambahan kulit kerang pada *scorch time* terlihat pada gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan bahwa kulit kerang yang semakin banyak menurunkan nilai *scorch time* dan waktu vulkanisasi, ... (1)



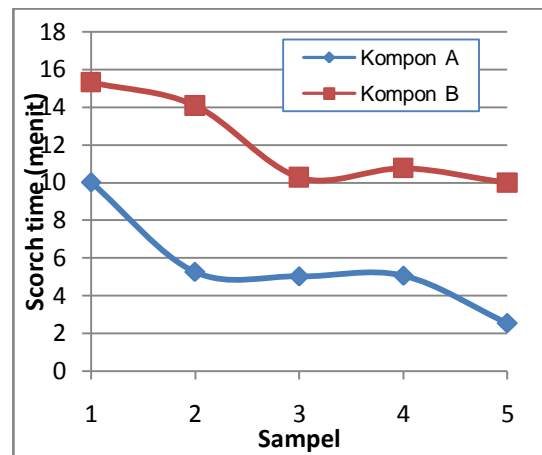
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

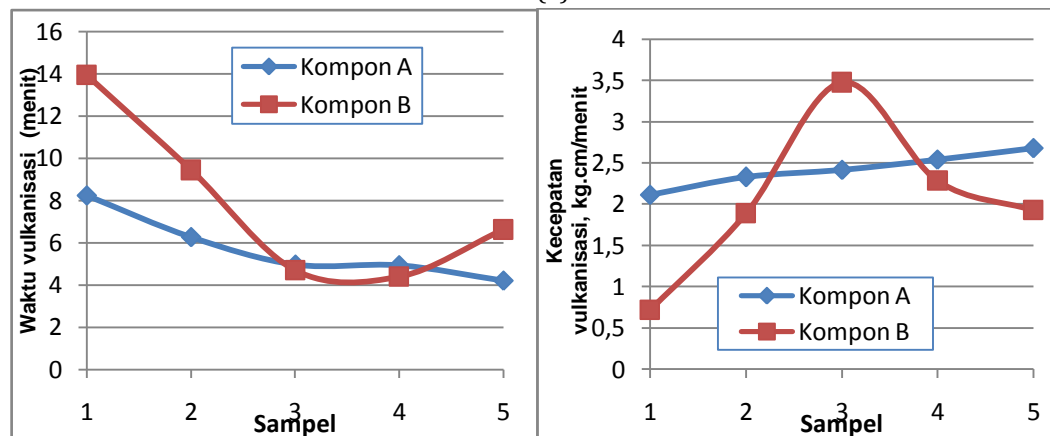
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

namun (c) meningkatkan kecepatan vulkanisasi. Hal ini sama seperti penelitian yang dilakukan oleh Ngamsurat, 2011 ([Ngamsurat et al., 2011](#)), bahwa kandungan kalsium karbonat yang semakin tinggi dalam

kompon karet akan menurunkan nilai *scorch time* dan *optimum curing*, namun meningkatkan kecepatan vulkanisasi karena maksimum torsi yang semakin meningkat.



(a)



(b)

(c)

Gambar 2.(a) *Scorch time* (TC 10) dari kompon karet; (b)Waktu vulkanisasi dari kompon karet; (c)Kecepatan vulkanisasi dari kompon karet

Pengaruh Penambahan Kulit Kerang terhadap *Hardness*.

Hasil pengujian *hardness* (gambar 3) menunjukkan bahwa semakin besar penambahan kulit kerang secara umum tidak menyebabkan kenaikan atau penurunan *hardness*. Berbeda dengan hasil penelitian Moonchai, 2013 ([Moonchai & Moonchai, 2013](#)), bahwa penambahan CaCO_3 saja dapat menyebabkan kenaikan *hardness*. Hal ini besar kemungkinan disebabkan karena

kandungan kalsium pada kulit kerang hanya sekitar 66,70 %. Bahan lainnya adalah MgO 22,28%, SiO_2 (silika) 7,88%, Fe_2O_3 0,03% dan Al_2O_3 sebesar 1,25% ([Siregar, 2009](#)). MgO dan silika (dalam kulit kerang) yang mempunyai kandungan terbesar mempunyai pengaruh yang cukup kuat. Silika bersifat sebagai penguat dan MgO dapat menjadi vulkanisator, menurut Mark, 2013 ([Mark et al., 2013](#)). Hasil pengujian *hardness* ini menunjukkan bahwa

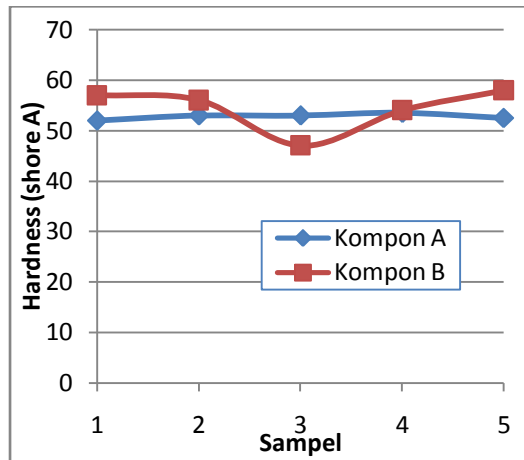


Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

penggantian *carbon black* atau silika dengan kulit kerang dapat dilakukan.



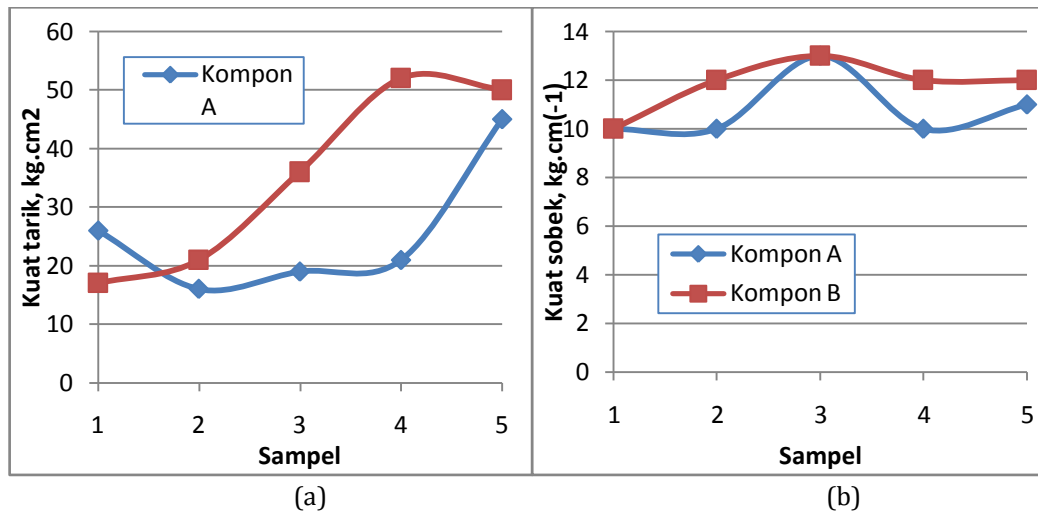
Gambar 3. Pengaruh penambahan kulit kerang terhadap hardness

Pengaruh Penambahan Kulit Kerang terhadap Kuat Sobek dan Kuat Tarik

Pada gambar 4 (a) terlihat pengaruh penambahan kulit kerang terhadap kuat tarik. Semakin meningkat kulit kerang secara umum

pada kompon A, kuat tarik semakin menurun, namun penurunannya tidak signifikan. Pada kompon B, dengan campuran bahan pengisi *carbon black* dan kulit kerang, semakin meningkat penambahan kulit kerang, kuat tarik semakin meningkat, namun menurun pada komposisi kulit kerang 100% (lihat tabel 2). Kondisi pada kompon B, hampir sama dengan pembahasan Muniandy, 2012 (Muniandy, Ismail, & Othman, 2012), penambahan *carbon black* dan CaCO_3 secara terpisah meningkatkan kuat tarik, karena penambahan bahan pengisi akan meningkatkan interaksi antar muka antara matriks karet dan bahan pengisi sepanjang dispersi bahan pengisi juga meningkat. Pada kompon A, pengaruh penambahan kulit kerang pada campurannya dengan silika tidak begitu berpengaruh pada kuat tarik.

Gambar 4 (b) menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi kulit kerang tidak begitu berpengaruh pada kuat sobek pada kedua jenis kompon.



Gambar 4. (a) Pengaruh penambahan kulit kerang terhadap kuat tarik dan (b) Pengaruh penambahan kulit kerang terhadap kuat sobek

Pengaruh Penambahan Kulit Kerang terhadap Ketahanan Kikis

Ketahanan kikis merupakan kemampuan kompon untuk bertahan terhadap tindakan mekanis seperti gesekan, goresan atau erosi yang cenderung mengikis permukaan suatu bahan (Arayaprane, 2012). Sebagai kompon

yang akan digunakan untuk kegiatan mekanis seperti sol sepatu dan bantalan kaki sepeda motor, ketahanan kikis sangat penting. Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi kulit kerang akan menurunkan ketahanan kikis untuk kompon A sedangkan kompon B, penurunannya tidak signifikan.



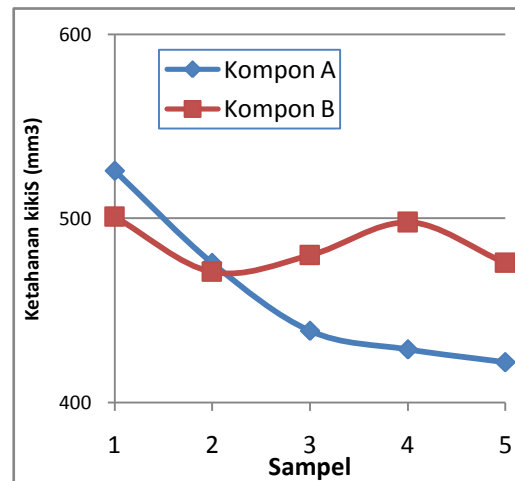
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

Pada kedua kompon terlihat bahwa kulit kerang dapat meningkatkan aktifitas permukaan sehingga memberikan tingkat vulkanisasi yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan ketahanan kikis suatu permukaan kompon (Tugau, 2010).

Perbedaan ketahanan kikis kompon A dan B memperlihatkan bahwa bahan pengisi campuran silika dan kulit kerang lebih mempunyai ketahanan abrasi lebih baik dibandingkan dengan campuran *carbon black* dan kulit kerang.



Gambar 5. Pengaruh penambahan kulit kerang terhadap ketahanan abrasi

4. KESIMPULAN

Penambahan bahan pengisi kulit kerang berpengaruh pada karakteristik vulkanisasi dan beberapa sifat fisik/mekanis kompon karet. Dua jenis kompon A dan B yang masing-masing dipersiapkan untuk produk yang berbeda dibuat dari karet alam jenis *Rubber Smoke Sheet* (RSS) dan variasi bahan pengisi campuran silika dan kulit kerang dan campuran bahan pengisi *carbon black* dan kulit kerang. Hasil pengujian karakteristik vulkanisasi menjelaskan bahwa penambahan bahan pengisi kulit kerang terhadap kompon karet menyebabkan penurunan terhadap scorch time dan waktu vulkanisasi dan meningkatkan kecepatan vulkanisasi. Sedangkan hasil pengujian terhadap beberapa sifat mekanis/fisik, penambahan bahan pengisi kulit kerang tidak berpengaruh terhadap hardness dan kuat sobek, tapi menurunkan kuat tarik dan meningkatkan ketahanan abrasi. Adanya senyawa lain seperti MgO dan silika dalam kulit kerang berpengaruh dalam karakteristik dan sifat fisik kompon karet tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada anggota peneliti dan teknisi di laboratorium kimia di (Balai Industri dan Standarisasi) Baristand Palembang dan laboratorium fisika (pengujian) Pusat Penelitian Karet Bogor yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada penyandang dana yaitu Dirjen Pendidikan Tinggi dalam dana Hibah Bersaing serta semua pihak terkait yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arayaprane, Wanvimon. (2012). Rubber abrasion resistance. *Abrasion resistance of materials. InTech*.
- Choi, Sung-Seen. (2004). Effect of bound rubber on characteristics of highly filled styrene-butadiene rubber compounds with different types of carbon black. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1001-1006. doi: 10.1002/app.20567



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- Cifriadi, Adi, & Maspanger, Dadi R. (2005). Sifat Teknis Vulkanisat Sol Sepatu Karet Alam Menggunakan Bahan Pengisi Abu Terbang.
- Dick, J, Sumpter, CA, & Ward, B. (1998). New Effective Methods For Measuring Processing and Dynamic Property Performance of Silicone Compounds. *PAPERS-AMERICAN CHEMICAL SOCIETY DIVISION OF RUBBER CHEMISTRY*.
- Fachry, A Rasyidi, Sari, Tuti Indah, Putra, Bobi Andika, & Kristianto, Dwi Aji. (2012). *Pengaruh Penambahan Filler Kaolin Terhadap Elastisitas Dan Kekerasan Produk Souvenir Dari Karet Alam (Hevea Brasiliensis)*. Paper presented at the Seminar Nasional Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia (TOPI) 2012.
- Hasan, Abu, Sulisty, Hary, & Honggokusumo, Suharto. (2013). THE EFFECT OF RUBBER MIXING PROCESS ON THE CURING CHARACTERISTICS OF NATURAL RUBBER. *MAKARA Journal of Technology*, 16(2).
- Mark, James E., Erman, Burak, & Roland, C. Michael. (2013). *The Science and Technology of Rubber Fourth Edition*. Boston: Academic Press.
- Moonchai, Sompop, & Moonchai, Darinya. (2013). Modelling and optimization of rebound resilience and hardness of defatted rice bran/calcium carbonate-filled NR vulcanisates. *Polymer Testing*, 32(8), 1472-1478. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2013.09.013>
- Muniandy, Komethi, Ismail, Hanafi, & Othman, Nadras. (2012). Effects of partial replacement of rattan powder by commercial fillers on the properties of natural rubber composites. *BioResources*, 7(4), 4640-4657.
- Ngamsurat, Sittiporn, Boonkerd, Kanoktip, Leela-adisorn, Uraiwan, & Potiyaraj, Pranut. (2011). Curing Characteristics of Natural Rubber Filled with Gypsum. *Energy Procedia*, 9(0), 452-458. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2011.09.051>
- Simamora, Ryanto C. (2012). Pengaruh Komposisi Kulit Kerang Terhadap Karakteristik Beton Ringan Dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Dan Batu Apung (F. U. N. M. Jurusan Fisika, Trans.) *Laporan Tugas Akhir*. Medan: Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Medan.
- Sipahutar, Siti S. (2011). Pengaruh Pengisi Kalsium Karbonat Dan Waktu Vulkanisasi Terhadap Kekuatan Tarik Dan Swelling Index Filem Lateks Karet Alam *Laporan Skripsi*. Sumatera Utara: Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sumatera Utara.
- Siregar, Shinta M. (2009). *Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi terhadap Karakteristik Beton Polimer*. Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Sulistiono, Pipin. (2012). Pengaruh Penambahan Kalsium Karbonat (CaCO₃) Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Kekerasan (Hardness) Pada Produk Karet Flexible Joint Di PT. Industri Karet Nusantara *Karya Ilmiah*. Sumatera Utara: Program DIII, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sumatera Utara.
- Tugau, Juan. (2010). *The effect of filler loading on the tensile strength of natural rubber compound*. Universiti Malaysia Pahang.
- Yuniati. (2010). *Studi Pemanfaatan Kulit Kerang (Andara ferruginea) Sebagai Bahan Pengisi Produk Lateks Karet Alam Dengan Tehnik Pencelupan*. Universitas Sumatera Utara., Sumatera Utara.

**Seminar Nasional Intergrasi Proses***"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

EFEKTIVITAS RESIN PENUKAR ANION UNTUK MENURUNKAN KADAR TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS) DALAM LIMBAH AIR TERPRODUKSI INDUSTRI MIGAS**Tri Partuti**

Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Soedirman Km. 03, Cilegon

Email : partuti33@gmail.com

Abstrak

Sampai saat ini, air terproduksi pada umumnya dibuang ke permukaan, sehingga perlu dilakukan treatment untuk mengurangi kandungan berbahaya didalamnya yang dapat mencemari lingkungan, sehingga air yang akan dibuang tersebut memenuhi baku mutu air buangan yang telah ditetapkan dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Limbah air terproduksi dengan kandungan konsentrasi TDS dan ion klorida yang tinggi dapat mengakibatkan korosi pada pipa-pipa logam. Dibandingkan dengan teknologi pengolahan limbah yang lain, seperti penyulingan, osmosis balik, pembekuan (*freezing process*), dan elektrodialisis, proses pertukaran ion tidak membutuhkan energi yang besar karena sederhana dalam desain dan pengoperasiannya. Karakteristik limbah air terproduksi yang berasal dari daerah Minas, Riau memiliki pH netral, konsentrasi TDS 5.420 ppm dan konsentrasi ion klorida sebesar 2.735,3 ppm. Penurunan konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi telah dilakukan dengan memvariasikan kondisi limbah air terproduksi, yaitu konsentrasi TDS (2.000, 3.000, 4.000 dan 5.000 ppm) dengan menggunakan metode proses pertukaran anion menggunakan resin penukar anion basa kuat (SBR-P), sistem kolom dan laju alir 10 ml/menit. Pengukuran TDS menggunakan metode gravimetric, sedangkan untuk penentuan konsentrasi klorida menggunakan metode titrimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi, semakin cepat proses pertukaran anion terjadi dan semakin cepat resin menjadi jenuh. Resin penukar anion dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi TDS < 5.000 ppm hingga mencapai 25-51%. Kapasitas resin penukar anion dalam menurunkan konsentrasi ion klorida adalah 3,422 meq/50 ml resin.]

Kata kunci : Limbah Air Terproduksi, Total Dissolved Solid (TDS), Resin Penukar Anion**1. PENDAHULUAN**

Proses pertukaran ion adalah pertukaran ion-ion dengan tanda muatan yang sama antara suatu larutan dan suatu padatan (resin) yang tidak dapat larut (Pudjaatmaka, 1994). Resin penukar ion adalah suatu senyawa organik berstruktur tiga dimensi dengan ikatan silang dan mempunyai gugus fungsi yang dapat terionisasi (Soemanto, 1995). Resin penukar anion ada dua jenis, yaitu resin penukar anion basa kuat dan resin penukar basa lemah. Resin penukar anion basa kuat adalah suatu

polimer yang mengandung gugus anion kuarternar ($-N^+R_3OH^-$), dimana R biasanya adalah CH_3 (Ruthven, 1997). Dibandingkan dengan teknologi pengolahan limbah yang lain, seperti penyulingan, osmosis balik, pembekuan (*freezing process*), dan elektrodialisis, proses pertukaran ion tidak membutuhkan energi yang besar karena sederhana dalam desain dan pengoperasiannya. Pertukaran ion dengan menggunakan resin sintesis memiliki beberapa keunggulan diantaranya kecepatan pertukaran yang lebih cepat dibandingkan



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dengan bahan alam seperti zeolit, tahan lama, tidak mudah rusak oleh tekanan serta pengaruh asam dan basa, serta memiliki kapasitas pertukaran yang tinggi. Pertukaran ion dapat dilakukan dengan sistem batch, semi-batch ataupun kolom. Keuntungan menggunakan sistem kolom diantaranya resin yang dibutuhkan sedikit, efisiensi regenerasinya tinggi sehingga hanya membutuhkan sedikit regenerasi dan lahan yang dibutuhkan tidak luas (Simon, 1991).

Sampai saat ini, air terproduksi pada umumnya dibuang ke permukaan, sehingga perlu dilakukan treatment untuk mengurangi kandungan berbahaya didalamnya yang dapat mencemari lingkungan, sehingga air yang akan dibuang tersebut memenuhi baku mutu air buangan yang telah ditetapkan dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Air terproduksi merupakan air produk sampingan yang terbawa ke atas pada saat pengambilan minyak dan gas bumi, termasuk didalamnya air formasi, air injeksi dan bahan kimia yang ditambahkan untuk pengeboran atau untuk proses pemisahan minyak atau air. Volume air terproduksi dapat mencapai sekitar 80% dari total volume limbah yang dihasilkan oleh industri migas dengan kondisi pH yang bervariasi (Hayes, 2010). Kandungan kimia air terproduksi yang dapat mencemari lingkungan adalah minyak yang tidak/belum dapat terpisahkan dari air, logam berat seperti Cd, Hg, As, Cr, Pb, Cu, Ni, Ag dan Zn, karbonat, nitrat, sulfat serta kimia organik lainnya yang mungkin ada dalam bentuk fenol murni atau senyawa fenol yang lain, serta didominasi oleh ion-ion natrium dan klorida (Supriyadi, dkk, 2001). Kandungan klorida yang tinggi dapat mematikan tumbuhan dan makhluk hidup lainnya serta dapat menyebabkan korosi pada pipa-pipa logam.

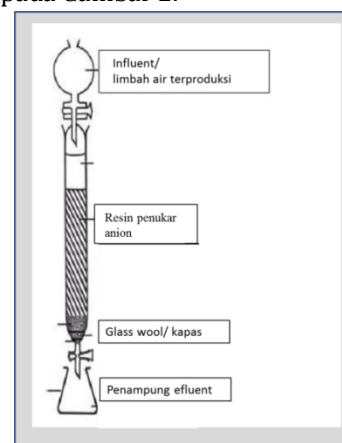
Penelitian ion klorida yang dapat ditukarkan dengan ion OH^- yang berasal dari resin penukar anion dengan sistem batch telah dilakukan oleh Arisminatul (2002). Kajian kapasitas dan efektivitas resin penukar anion untuk mengikat klor pada mata air desa

Sedang telah dilakukan oleh Antara (2008). Pada penelitian ini dilakukan proses pertukaran ion dengan menggunakan resin penukar anion untuk menurunkan konsentrasi TDS dan ion klorida dalam limbah air terproduksi dengan sistem kolom, sehingga air keluaran dari proses pertukaran anion aman dibuang ke lingkungan sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

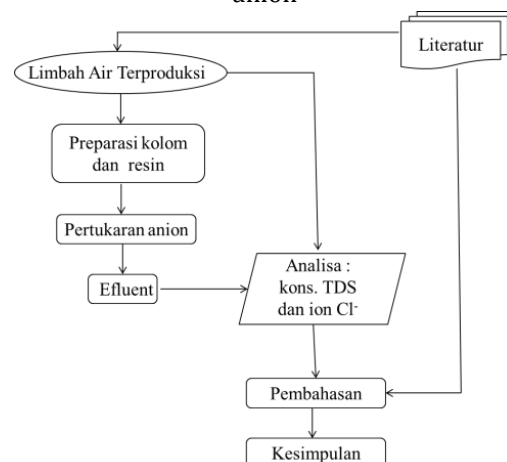
2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Persiapan Resin dan Kolom

Resin yang digunakan adalah resin penukar anion basa kuat (SBR-P), dimasukkan ke dalam kolom ukuran tinggi 25 cm dan diameter 2,5 cm. Kolom dirangkai seperti pada Gambar 1. Resin penukar anion sudah dalam keadaan lembab dengan kandungan air antara 50-56%. Langkah percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian kolom penukar anion



Gambar 2. Diagram alir penelitian



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

b. Karakterisasi Limbah Air Terproduksi

Karakterisasi limbah air terproduksi yang diperoleh dari daerah Minas, Riau dilakukan menggunakan beberapa parameter, seperti konsentrasi TDS dan konsentrasi ion Cl⁻. Variable yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi TDS (2.000, 3.000, 4.000 dan 5.000 ppm). Laju alir sampel yang keluar kolom diatur 10 ml/menit.

c. Analisa konsentrasi TDS

Pengukuran konsentrasi TDS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Sampel limbah air terproduksi disaring dan diambil sebanyak 10 ml, dimasukkan ke dalam cawan penguap, kemudian dipanaskan pada temperatur 105 °C hingga sampel menguap sempurna. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator, kemudian

ditimbang. Perhitungan konsentrasi TDS dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1) berikut ini :

$$\text{Konsentrasi TDS (ppm)} = \frac{b - a(\text{mg})}{V_{\text{larutan}}(\text{mL})} \times 1000(\text{mL/L}) \quad \dots(1)$$

Dimana : a = berat cawan kosong,

b = berat cawan + sampel,

V_{larutan} = volume sampel (10 ml).

Besarnya persentase penurunan konsentrasi TDS pada setiap effluent fraksi ke-n dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) berikut ini :

$$\% \text{ penurunan TDS} = \frac{\text{kons. TDS}_{\text{influent}} - \text{kons. TDS}_{\text{effluent fraksi ke-n}}}{\text{kons. TDS}_{\text{influent}}} \times 100 \quad \dots (2)$$

d. Analisa konsentrasi ion klorida

Penentuan konsentrasi ion klorida dilakukan dengan metode titrimetri menggunakan Memotitrator Mettler DL 40 RC. Titran yang digunakan adalah AgNO₃ 0,1 N yang sudah distandarisasi terlebih dahulu menggunakan larutan ammonium tiosianat. Larutan sampel yang akan ditentukan

konsentrasi ion kloridanya disaring, dipipet sebanyak 5 ml, dimasukkan ke dalam gelas beker khusus 150 ml, ditambahkan 2 ml asam sulfat 0,1 N dan 20 ml aseton, kemudian dititrasi dengan larutan AgNO₃ 0,1 N. Konsentrasi ion klorida dapat ditentukan dari persamaan (3) berikut ini :

$$\text{Konsentrasi ion klorida} = \frac{V_{\text{titran}}(\text{mL}) \times BM_{\text{Cl}}(\text{g/mol}) \times M_{\text{titran}}(\text{mol/L})}{V_{\text{larutan}}(\text{mL})} \times 1000(\text{mg/g})$$

Kapasitas resin penukar anion dalam menurunkan konsentrasi ion klorida dinyatakan dalam meq/ml. Hubungan antara konsentrasi ion klorida yang diperoleh dari

hasil pengukuran (ppm) dengan kapasitas resin (meq/ml) ditunjukkan pada persamaan (4) berikut ini :

$$\text{mg/ml} = \frac{\text{mEq/ml} \times \text{atomic, molecular or formula weight}}{\text{valence}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

e. Regenerasi resin penukar ion

Proses regenerasi resin penukar anion dilakukan dengan mengalirkan NaOH 4% dari

atas kolom melewati resin dengan laju alir yang sama pada percobaan. Larutan NaOH 4% dibuat dengan melarutkan 40 gram NaOH



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

teknis dalam *deionized water* hingga tepat 1000 ml. Regenerasi dilakukan hingga konsentrasi *influent* samadengan *effluent*, dan selanjutnya dibilas dengan *deionized water* untuk menghilangkan sisa regenerasi yang masih tertinggal di kolom.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi Limbah Air Terproduksi

Hasil pengukuran pH, konsentrasi TDS dan ion klorida dari limbah air terproduksi awal terlihat pada Tabel 1. Dengan mengkondisikan konsentrasi TDS limbah air terproduksi, maka dapat dicari hubungan pengaruh konsentrasi TDS dengan kapasitas resin dan efektivitas resin penukar anion dalam menurunkan kadar ion klorida.

b. Analisa penurunan konsentrasi TDS

Semakin tinggi konsentrasi TDS semakin sedikit jumlah fraksi efluen yang dihasilkan, maka semakin cepat pula resin penukar anion menjadi jenuh (Gambar 3). Persentase penurunan konsentrasi TDS dengan menggunakan resin penukar anion hanya mencapai 25-51 %. Semakin tinggi konsentrasi TDS, maka efektivitas resin semakin berkurang, hal ini dapat dilihat dari persentase penurunan konsentrasi TDS untuk konsentrasi 5.000 ppm hanya sekitar 15%. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi TDS, maka kemampuan resin untuk menurunkan konsentrasi TDS semakin besar.

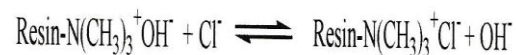
Tabel 1. Karakterisasi Awal Limbah Air Terproduksi

Parameter	Hasil Pengukuran
pH	7,23
Na ⁺ (ppm)	1.841,18
Pb ²⁺ (ppm)	8,72
Cu ²⁺ (ppm)	4,82
Salinitas (%)	0,70
Konduktivitas (mS/cm)	12,0
Cl ⁻	2.735,3
TDS (ppm)	5.420

c. Penurunan konsentrasi ion klorida

Satu siklus pertukaran anion dengan sistem kolom meliputi proses pembilasan-

balik (*backwash*), adsorpsi dan regenerasi. Proses pembilasan balik bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara dan partikel halus yang terbawa masuk ke kolom dan menjamin distribusi yang merata dari manik-manik resin dimana resin dengan ukuran yang lebih besar akan berada di dasar kolom. Pada tahap adsorpsi, semua pengotor yang tidak diinginkan (ion klorida) dikurangi konsentrasinya. Limbah air terproduksi didominasi oleh ion-ion natrium (Na⁺) dan klorida (Cl⁻). Saat limbah air terproduksi yang mengandung ion Cl⁻ kontak dengan resin penukar anion yang mengandung ion OH⁻, maka ion OH⁻ akan meninggalkan resin dan masuk ke dalam larutan sebagai *effluent*, sedangkan ion Cl⁻ akan teradsorpsi di permukaan resin dan menggantikan ion OH⁻ dari resin. Persamaan reaksi yang terjadi adalah :



Jumlah meq ion klorida dalam resin untuk tiap fraksi efluen tidak stabil, semakin lama semakin berkurang (Gambar 4). Hal ini dimungkinkan dalam limbah air terproduksi terdapat anion lain yang lebih dipilih oleh resin walaupun konsentrasinya lebih kecil dari ion klorida, seperti ion karbonat, sulfat maupun nitrat. Pemilihan ini terkait dengan keseltifan resin terhadap anion-anion tertentu dimana $\text{SO}_4^{2-} > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{CrO}_4^{2-} > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^-$ (Reynold, 1996). Kapasitas resin untuk menukarkan ion klorida mencapai 3,422 meq/50 ml resin, sedangkan kapasitas operasional resin penukar anion SBR-P adalah 0,95 eq/l.

Spesies ion yang paling disukai oleh resin keluar terakhir dari kolom dan konsentrasi efluen (konsentrasi setelah melewati resin) yang dihasilkan tidak pernah melampaui *influen*, sebaliknya, spesies ion yang kurang disukai resin akan meninggalkan kolom terlebih dahulu dan konsentrasi efluennya kadang-kadang melampaui konsentrasi *influen*-nya (Letterman, 1999). Tidak stabilnya penurunan konsentrasi ion klorida (Gambar 5) menjelaskan bahwa konsentrasi efluen



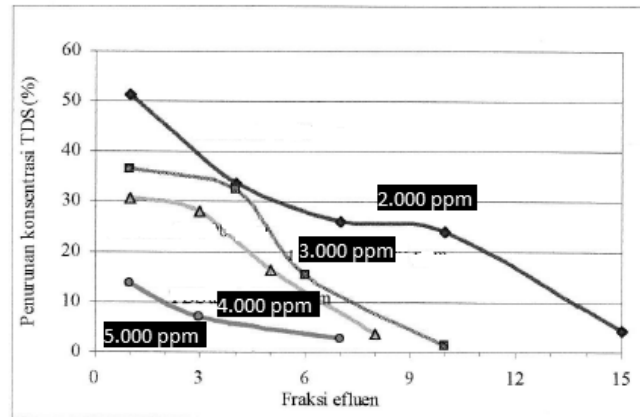
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

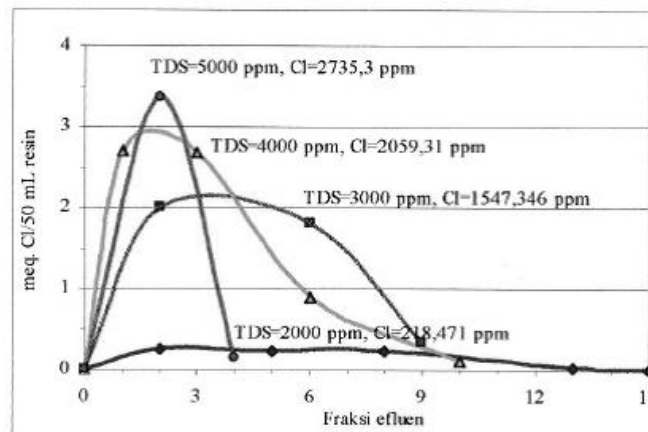
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

yang semakin mendekati konsentrasi influen dengan semakin bertambahnya fraksi menunjukkan bahwa resin penukar anion tidak begitu selektif terhadap ion klorida. Jika resin penukar anion lebih selektif terhadap

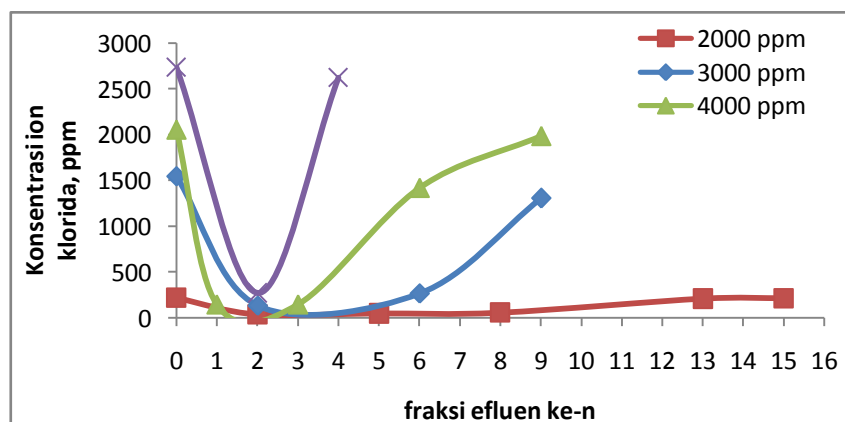
ion klorida maka konsentrasi ion klorida di dalam efluen akan stabil dan jumlahnya sedikit, yang menjelaskan bahwa ion klorida teradsorpsi sempurna di dalam resin penukar anion.



Gambar 3. Kurva penurunan konsentrasi TDS vs fraksi efluen pada variasi TDS



Gambar 4. Kurva kapasitas resin terhadap ion klorida vs fraksi efluen dengan variasi konsentrasi TDS



Gambar 5. Kurva konsentrasi ion klorida vs fraksi efluen ke-n dengan variasi konsentrasi TDS



Seminar Nasional Intergrasi Proses

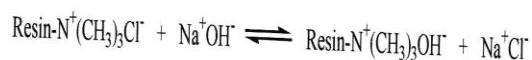
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

d. Regenerasi Resin Penukar Anion

Regenerasi adalah perubahan resin penukar ion dari satu bentuk ke bentuk lain. Proses regenerasi dilakukan sama seperti proses pertukaran ion, hanya saja waktunya lebih singkat, prosesnya meliputi *backwash*, regenerasi dan pembilasan, serta dihentikan jika pH *effluent* sudah sama dengan *influent* (Tabel 2). Volume NaOH yang dibutuhkan untuk meregenerasi resin penukar anion adalah 100 ml.

Anion OH⁻ dari larutan NaOH berperan untuk mensubstitusi anion asing (dari larutan limbah) yang terikat pada situs-situs aktif resin dan mengembalikannya ke bentuk ion semula, yaitu ion OH⁻. Bila kondisi pH efluen sudah sama dengan influen, maka proses regenerasi dianggap selesai. Keuntungan dari proses regenerasi adalah resin penukar ion dapat digunakan kembali untuk proses pertukaran ion yang lainnya. Persamaan reaksi kimia yang terjadi pada saat proses regenerasi resin penukar anion adalah :



Tabel 2. Regenerasi Resin Penukar Anion

Fraksi ke-	Perubahan pH
0	12,68
1	12,41
2	12,60

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Resin penukar anion dapat menurunkan konsentrasi TDS limbah air produksi antara 25-51 %. Kapasitas resin dalam menurunkan konsentrasi ion klorida adalah 3,422 meq/50 ml resin. Semakin tinggi konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi maka waktu pertukaran anionnya semakin cepat dan resin semakin cepat jenuh.

4.2 Saran

Perlu dilakukan analisa lebih lanjut untuk anion selain klorida yang terdapat di dalam limbah air terproduksi, sehingga selektivitas resin penukar anion terhadap anion lain dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Arisminatul Apriyanti. 2002. *Studi Pengaruh Kadar Cl- dalam Air garam terhadap Proses Pertukaran Anion untuk Pengolahan Limbah Industri Migas*. Unibraw. Malang.
- Hayes, T. 2010. *Produce Water Management : Chalenge and Solution*. E&P Center Gas Technology Institute.
- IKG. Antara, dkk. 2008. *Kajian Kapasitas dan Efektivitas Resin Penukar Anin untuk Mengikat Klor dan Aplikasinya pada Air*. Jurnal Kimia 2 (2). Bali.
- Letterman, R. D. 1999. *PWater Quality and Treatment 5th edition*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Pudjaatmaka, A.H., et al. 1994. *Buku Ajar Vogel : Kimia Analisis Kuantitatif Kimia Anorganik*. Jakarta
- PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Ruthven, D. 1997. *Encyclopedia of Separation Technology vol. 2*. John Wiley and Sons. New York.
- Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company. Boston.
- Simon, G. 1991. *Ion Exchange Training Manual*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Soemanto Imamkhasani. 1995. *Resin Penukar Ion dan Penggunaannya dalam Pengolahan Air*. Buletin IPT. Vol 1. No. Perdana.



Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Superhidrofobik dengan Variasi Tingkat Keasaman

¹Sutrasno Kartohardjono*), ¹Kezia Elkardiana, ¹Yuliusman

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok 16424

*)Email : sutrasno@che.ui.ac.id

Abstrak

Amonia terlarut dalam air limbah digolongkan sebagai bahan berbahayaberacun karena bersifat korosif, dan berdasarkan Peraturan Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 04 Tahun 1995 tentang baku mutu air limbah maka kandungannya tidak boleh melebihi 5-10 ppm. Secara konvensional amonia dapat disisihkan melalui proses pelucutan udara, pertukaran ion selektif, klorinasi, dan nitrifikasi biologi yang umumnya memerlukan biaya yang tinggi karena konsumsi energi dan bahan kimianya. Kontaktor membran serat berongga dapat digunakan sebagai medium untuk menyisihkan amonia terlarut dalam air limbah tanpa kontak langsung antara air limbah dan larutan penyerapnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan proses penyisihan amonia dari air limbah melalui kontaktor membran menggunakan larutan asam sulfat sebagai larutan penyerap. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa efisiensi penyisihan amonia meningkat dengan naiknya pH larutan air limbah. Secara umum kenaikan pH air limbah juga akan meningkatkan koefisien perpindahan massa amonia keseluruhan.

Kata kunci : amonia, efisiensi penyisihan, koefisien perpindahan massa dan kontaktor membran.

Abstract

Dissolved ammonia in wastewater is classified into toxic hazardous materials as they are corrosive, and based on Regulation of Minister of Environment Republic of Indonesia No. 04 of 1995 on waste water quality standards; the contents should not exceed 5-10 ppm. Conventionally, ammonia can be separated by air stripping, selective ion exchange, chlorination, and biological nitrification processes, which generally requires high cost due to high consumption of either energy or chemicals. Hollow fiber membrane contactors can be used as a medium to eliminate dissolved ammonia from wastewater without direct contact between the wastewater containing ammonia and the absorption solution. This study aims to investigate the process of ammonia separation through the membrane contactor using sulfuric acid solution as absorbent. Experimental results showed that the ammonia removal efficiency increase as the increasing pH of wastewater containing ammonia. The increase in the pH of the wastewater in general will also increase the overall mass transfer coefficient and fluxes.

Keywords : ammonia, mass transfer coefficient, membrane contactor and removal efficiency.

1. PENDAHULUAN

Amonia merupakan polutan utama yang barasal baik dari limbah rumah tangga

maupun industri. Air limbah yang mengandung amonia ini dapat berasal dari industri pupuk, gasifikasi batubara,



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

pengilangan minyak bumi, farmasi, dan pabrik katalis ([Ashrafizadeh & Khorasani, 2010](#)). Berdasarkan Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 51 tahun 1995 (KEP-51/MENLH/10/1995), tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, amonia dari air limbah industri harus disisihkan sehingga kandungannya tidak melebihi 5 - 10 ppm. Kebijakan ini diambil karena sifat amonia yang sangat beracun terhadap semua spesies ikan, dan ditambah lagi amonia akan teroksidasi oleh mikroorganisme melalui proses nitrifikasi menghasilkan senyawa nitrat yang sangat tidak diinginkan oleh manusia. Konsentrasi amonia dalam air limbah industri bervariasi dari 5 hingga 1000 mg/L ([Rezakazemi, Shirazian, & Ashrafizadeh, 2012](#); [Sutrasno Kartohardjono & Nur, 2009](#)). Dengan demikian penyisihan amonia terlarut dari air limbah menjadi suatu keharusan untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia.

Ada beberapa metode konvensional yang telah diaplikasikan untuk menyisihkan amonia terlarut dari air limbah seperti pelucutan udara, pertukaran ion selektif, klorinasi, dan nitrifikasi biologi ([Hasanoğlu, Romero, Pérez, & Plaza, 2010](#)). Belakangan ini, kontaktor membran serat berongga mulai banyak menarik perhatian para peneliti untuk digunakan sebagai media untuk menyisihkan amonia terlarut dari air limbah ([Kartohardjono, Handayani, Deflin, Nuraeni, & Bismo, 2012](#)). Beberapa studi telah dilakukan menggunakan kontaktor membran serat berongga sebagai alat untuk menyisihkan amonia terlarut dari air limbah seperti: Pelucutan amonia melalui kontaktor membran serat berongga melalui metoda vakum dan metode gas penyapu ([Mandowara & Bhattacharya, 2009](#)); Penyisihan amonia melalui proses membran distilasi ([Ding, Liu, Li, Ma, & Yang, 2006](#); [Xie, Duong, Hoang, Nguyen, & Bolto, 2009](#)); Penyisihan amonia melalui proses membran distilasi vakum ([Ding et al., 2006](#); [El-Bourawi et al., 2007](#)); Proses penyisihan amonia dari air limbah

melalui gabungan proses membran dan ozonasi ([Kartohardjono, Putri, et al., 2012](#)); Proses penyisihan amonia dari air limbah melalui gabungan proses membran, ozonasi dan plasma nontermal ([Kartohardjono, Handayani, et al., 2012](#)). Penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan amonia dari air limbah menggunakan kontaktor membran superhidrofobik. Dalam studi akan dilihat pengaruh pH, laju sirkulasi dan suhu air limbah terhadap kinerja proses pelucutannya.

2. MATERIAL DAN METODE

Kontaktor membran yang digunakan dalam penelitian ini berbahan polipropilen dengan luas permukaan 0.92m² yang diperoleh dari *Liqui-Cell*. Eksperimen yang dilakukan untuk menyisihkan amonia dari air limbah diperlihatkan pada Gambar 1. Air limbah dibuat dengan melarutkan sejumlah tertentu senyawa Ammonium Sulfat dan menambahkan *Sodium Hydroxide* untuk mengatur pH larutannya. Sementara larutan penyerap yang digunakan adalah larutan 0,1M H₂SO₄. Larutan air limbah dipompakan ke kontaktor membran melalui bagian selongsong kontaktor dan dikembalikan lagi ke reservoir. Sementara larutan penyerap dialirkan ke bagian lumen fiber menggunakan *Peristaltic Pump Longer Pump WT600-2J*. Air limbah dianalisis setiap 15 menit sekali untuk mengukur konsentrasi ammonianya menggunakan ammonia meter *Martini Instruments Mi 4500*.

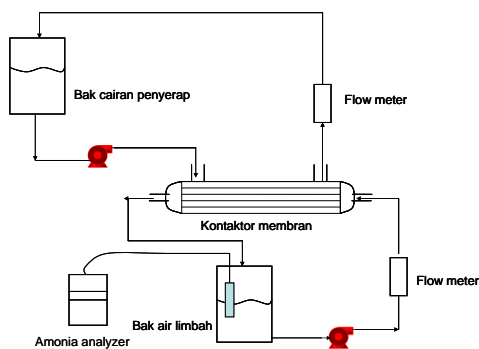
Efisiensi proses penyisihan amonia dari larutan airnya (%R) ditentukan menggunakan persamaan:

$$\%R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Sementara koefisien perpindahan massa ammonia dihitung menggunakan Persamaan (2) ([Norrdahl, Horn, Larsson, du Preez, & Christensen, 2006](#)):



$$\ln \left(\frac{[NH_3 - N]_0}{[NH_3 - N]_t} \right) = K_L \frac{A_m}{V} t \quad (2)$$



Gambar 1. Diagram skematik eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 dan 3 memperlihatkan pengaruh pH air limbah terhadap profil konsentrasi amonia (C_t) dan konsentrasi relatif amonia (C_t/C_0) di dalam air limbah. Gambar 2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi pH air limbah, semakin besar penurunan konsentrasi amonia yang ada di air limbah. Amonia di dalam air akan membentuk reaksi kesetimbangan yaitu:



Semakin tinggi pH air limbah maka semakin banyak ion OH^- yang ada di dalam larutan sehingga akan menggeser kesetimbangan reaksi ke kiri (ke arah pembentukan $NH_3(g)$), yang pada akhirnya akan semakin banyak amonia yang dapat disisihkan melalui kontaktor membran. Gambar 2 memperlihatkan bahwa pada pH air limbah 12 dan 11, semua amonia sudah dapat disisihkan setelah sirkulasi dilakukan selama 90 dan 120 menit (5400 dan 7200 detik). Sementara untuk pH air limbah 10, setelah waktu sirkulasi 120 menit (7200 detik) masih didapati amonia walaupun konsentrasinya sudah sangat kecil sekali (0,03 ppm). Gambar 2 dan 3 juga memperlihatkan hasil penelitian yang dilakukan terdahulu menggunakan kontaktor membran hidrofobik dan gabungannya dengan proses oksidasi plasma-ozon (RHOP) (Sutrasno Kartohardjono, Puji Lestari Handayani, Seswila Deflin, Yuniar

Nuraeni, & Bismo, 2012). Gambar 2 dan 3 memperlihatkan bahwa kontaktor membran super - hidrofobik memberikan hasil penurunan konsentrasi yang jauh lebih baik dibandingkan kontaktor membran hidrofobik, bahkan dengan gabungan proses membran hidrofobik dan oksidasi pada reaktor plasma-ozon (RHOP), walaupun konsentrasi awal yang digunakan sedikit berbeda. Gambar 2 dan 4 juga menunjukkan bahwa proses penyisihan amonia dari air limbah melalui kontaktor membran superhidrofobik jauh lebih baik dibandingkan dengan 2 hasil penelitian sebelumnya (Sutrasno Kartohardjono et al., 2012).

Gambar 4 memperlihatkan efisiensi penyisihan amonia pada berbagai pH air limbah, dimana semakin tinggi pH air limbah, semakin tinggi efisiensi pemisahannya karena semakin sedikit konsentrasi amonia di dalam air limbah (C_t) seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Seperti halnya pada profil konsentrasi amonia, efisiensi penyisihan 100% terjadi pada waktu 90 dan 120 menit (5400 dan 7200 detik) untuk pH air limbah 12 dan 11, sementara pada pH air limbah 10 pada saat 120 menit (7200 detik) efisiensi penyisihannya telah mencapai 98,8%. Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa efisiensi penyisihan amonia pada penelitian ini jauh lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Sutrasno Kartohardjono et al., 2012).

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh pH air limbah terhadap koefisien perpindahan massa, K_L , yang terjadi di dalam kontaktor membran. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi pH air limbah, koefisien perpindahan massa yang terjadi juga relatif semakin tinggi. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa Semakin tinggi pH air limbah maka akan menggeser reaksi kesetimbangan amonia dalam air ke kiri (ke arah pembentukan $NH_3(g)$), sehingga akan semakin banyak amonia yang berpindah melalui kontaktor membran yang pada akhirnya akan membawa pada kenaikan koefisien perpindahan massanya. Dengan

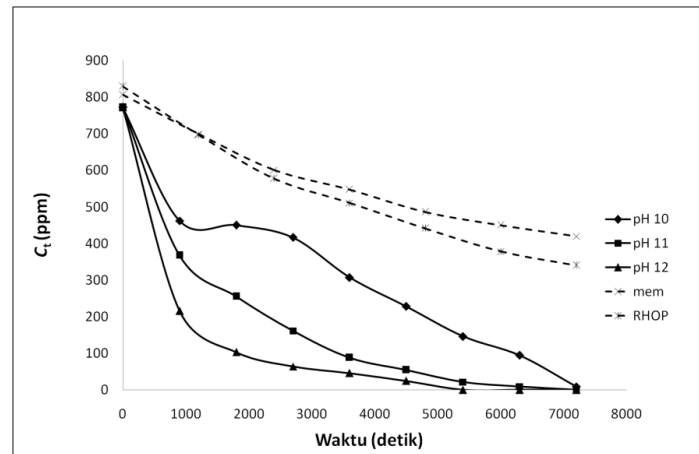


Seminar Nasional Intergrasi Proses

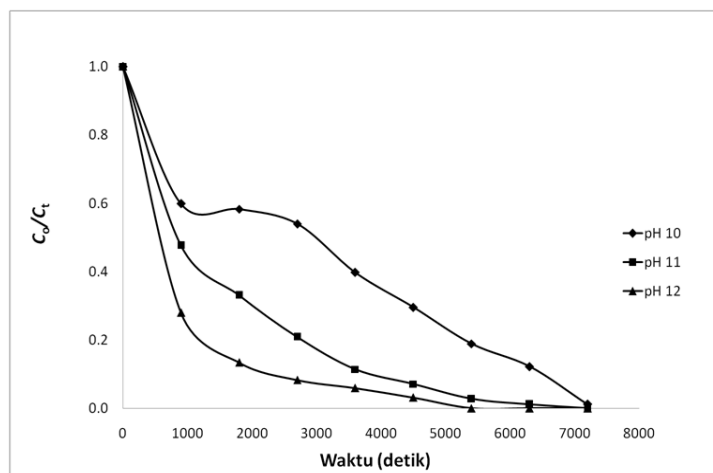
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

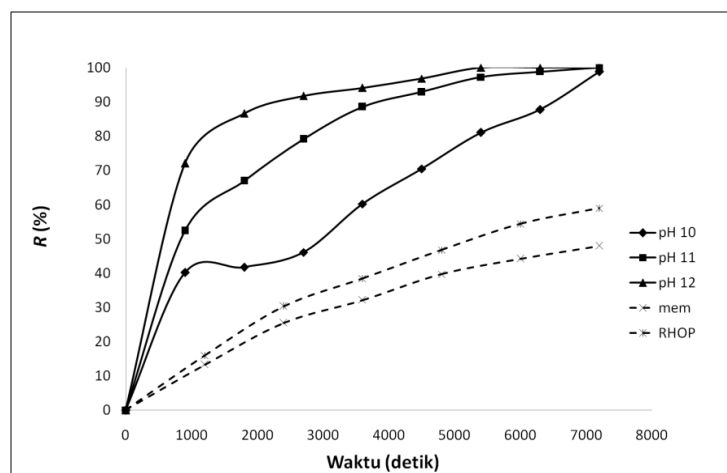
Gambar 5 kita dapat mengetahui pengaruh pH air limbah semakin tinggi juga koefisien air limbah terhadap koefisien perpindahan massa keseluruhannya, dimana semakin tinggi pH



Gambar 2. Profil konsentrasi amonia terhadap waktu



Gambar 3. Profil konsentrasi amonia relatif terhadap waktu



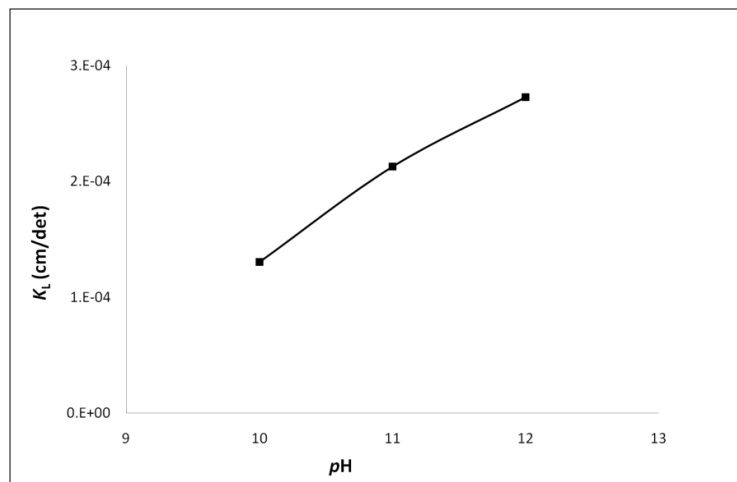
Gambar 4. Profil efisiensi penyisihan akumulatif amonia terhadap waktu



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 5. Pengaruh pH air limbah terhadap koefisien perpindahan massa keseluruhan, K_L

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berikan uraian tentang simpulan dan saran. Eksperimen telah dilakukan untuk menyisahkan amonia dari air limbah melalui kontaktor membran serat berongga superhidrofobik menggunakan larutan penyerap 0,1 M H_2SO_4 . Hasil penelitian memperlihatkan bahwa semakin tinggi pH air limbah semakin cepat amonia dapat disisahkan dari air limbah seperti ditunjukkan pada hasil eksperimen dimana pada pH 12 amonia sudah berhasil disisahkan seluruhnya setelah 90 menit (5400 detik). Semakin tinggi pH air limbah semakin tinggi pula efisiensi penyisihan amonia (%R) yang terjadi di dalam kontaktor membran. Hasil penyisihan yang diperoleh dari penelitian yang menggunakan kontaktor membran polipropilen lebih baik dibandingkan yang menggunakan kontaktor membran hidrofobik biasa dengan peningkatan efisiensi penyisihan dari sekitar 60% ke hampir 100%. Kenaikan pH air limbah juga secara umum akan menaikkan koefisien perpindahan massa keseluruhan.

Penelitian ini masih perlu dilanjutkan terutama untuk mengetahui pengaruh laju sirkulasi dan suhu air limbah terhadap proses penyisihan amonia yang terjadi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset dan Pengabdian pada Masyarakat (DRPM)

Universitas Indonesai atas pendanaan penelitian ini melalui Kontrak No. 3376/H2.R12/HKP.05.00/2014.

6. NOTASI

- A_m : Luas permukaan membran, m^2
 C_0 : Konsentrasi awal amonia di dalam air limbah, ppm
 C_t : Konsentrasi amonia pada saat t di dalam air limbah, ppm
 K_L : Koefisien perpindahan massa amonia keseluruhan
 %R : Efisiensi proses penyisihan amonia akumulatif, %
 t : waktu, detik
 V : Volume air limbah, m^3

f. DAFTAR PUSTAKA

- Ashrafizadeh, S. N., & Khorasani, Z. (2010). Ammonia removal from aqueous solutions using hollow-fiber membrane contactors. *Chemical Engineering Journal*, 162(1), 242-249. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.036>
- Ding, Zhongwei, Liu, Liying, Li, Zhaoman, Ma, Runyu, & Yang, Zurong. (2006). Experimental study of ammonia removal from water by membrane distillation (MD): The comparison of three configurations. *Journal of Membrane Science*, 286(1-2), 93-103.



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

- doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.09.015>
- El-Bourawi, M. S., Khayet, M., Ma, R., Ding, Z., Li, Z., & Zhang, X. (2007). Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal. *Journal of Membrane Science*, 301(1-2), 200-209. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2007.06.021>
- Hasanoğlu, A., Romero, J., Pérez, B., & Plaza, A. (2010). Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and theoretical analysis of operation parameters and configuration. *Chemical Engineering Journal*, 160(2), 530-537. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.03.064>
- Kartohardjono, S., Handayani, P.L., Deflin, S., Nuraeni, Y., & Bismo, S. (2012). Ammonia Removal from Wastewater through Combination of Absorption Process in the Membrane Contactor and Advance Oxydation Process in Hybride Plasma-Ozone Reactor. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1, 1101 - 1107.
- Kartohardjono, S., Putri, M.H., Fahmiati, S., Fitriasari, E., Ajeng, C., & Bismo, S. (2012). Combination of ozonation process and absorption through membrane contactor using natural hot spring water as absorbent to remove ammonia from wastewater. *Journal of Environmental Science and Engineering* 1(4), 428 - 433.
- Mandowara, Amish, & Bhattacharya, Prashant K. (2009). Membrane contactor as degasser operated under vacuum for ammonia removal from water: A numerical simulation of mass transfer under laminar flow conditions. *Computers & Chemical Engineering*, 33(6), 1123-1131. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2008.12.005>
- Norrdahl, B., Horn, V. G., Larsson, M., du Preez, J. H., & Christensen, K. (2006). A membrane contactor for ammonia stripping, pilot scale experience and modeling. *Desalination*, 199(1-3), 172-174. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.037>
- Rezakazemi, Mashallah, Shirazian, Saeed, & Ashrafizadeh, Seyed Nezameddin. (2012). Simulation of ammonia removal from industrial wastewater streams by means of a hollow-fiber membrane contactor. *Desalination*, 285(0), 383-392. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.030>
- Sutrasno Kartohardjono, & Nur, Muhammad Haikal. (2009). *Utilization Of Natural Solvent From Leaves of NONI(Morinda Citrifolia) In CO2 Absorption Through Hollow Fiber Membrane Contactor*. Paper presented at the International Seminar On Sustainable Biomass Production And Utilization: Challenges And Opportunities, Bandar Lampung.
- Sutrasno Kartohardjono, Puji Lestari Handayani, Seswila Deflin, Yuniar Nuraeni, & Bismo, Setijo. (2012). Ammonia Removal from Wastewater through Combination of Absorption Process in the Membrane Contactor and Advance Oxydation Process in Hybride Plasma-Ozone Reactor. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1, 1101-1107.
- Xie, Zongli, Duong, Tuan, Hoang, Manh, Nguyen, Cuong, & Bolto, Brian. (2009). Ammonia removal by sweep gas membrane distillation. *Water Research*, 43(6), 1693-1699. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.052>