

LAPORAN PENELITIAN

PENGARUH pH DAN RASIO C/N TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI CO-DIGESTION LIMBAH CAIR TAHU DAN KIAMBANG (*Salvinia molesta*)



Diajukan oleh:

Irfan Farid 3335140206

Mochamad Risad Wicaksono 3335140280

**JURUSAN TEKNIK KIMIA – FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2018**

LAPORAN PENELITIAN

Pengaruh pH Dan Rasio C/N Terhadap Produksi Biogas Dari *Co-Digestion* Limbah Cair Tahu Dan Kiambang

disusun oleh :

Irfan Farid

3335140206

Mochamad Risad Wicaksono

3335140280

Telah Disetujui Oleh Dosen Pembimbing dan Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji

Pada Tanggal 15 Januari 2019

Dosen Pembimbing I



Rusdi S.T., M.T.

NIP. 196711252005011002

Dosen Pembimbing II



Iqbal Syaichurrozi. S.T., M.T.

NIP. 199003202014041001

Dosen Penguji I



Dr. Teguh Kurniawan, S.T., M.T.

NIP. 198305062006041002

Dosen Penguji II



Retno Sulistyo D. L., S.T., M.Eng.

NIP. 198110042008122003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Endang Suhendi, S.T., M.Eng.

NIP. 197707052003121001

ABSTRAK

PENGARUH pH DAN RASIO C/N TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI CO-DIGESTION LIMBAH CAIR TAHU DAN KIAMBANG (*Salvinia molesta*)

Disusun:

Irfan Farid : 3335140206

Mochamad Risad Wicaksono : 3335140280

Biogas adalah energi alternatif yang terbuat dari fermentasi anaerobik oleh mikroorganisme berbahan baku suatu limbah organik dan menghasilkan gas metan. Biogas dihasilkan melalui 4 proses tahapan yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Produksi biogas dari limbah cair tahu dengan penambahan kiambang (*Salvinia molesta*) yang bertujuan untuk meningkatkan kadar karbon pada produk biogas sehingga berada pada perbandingan rasio C/N optimum yaitu pada rentang 20-30. Penelitian ini belum pernah dilakukan oleh peneliti lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan perbandingan komposisi optimum dari limbah cair tahu dan sebagai bahan baku pembuatan biogas serta mendapatkan nilai pH optimum dalam pembuatan biogas. Dalam penelitian ini limbah cair tahu diukur volumenya sesuai variasi penelitian. Kiambang yang digunakan dihaluskan dan diayak terlebih dahulu agar lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme. Lalu kedua bahan baku tersebut dicampurkan sesuai dengan variasi. Dilakukan pengecekan pH dan volume biogas setiap tiga hari sekali serta amonium setiap lima belas hari sekali selama 60 hari masa percobaan. Data yang diambil diolah dengan metode *Modifed Gompertz*. Pada penelitian ini variasi yang memproduksi biogas optimum adalah variasi C/N 21,09 pada pH 6 dimana volume metan yang dihasilkan sebesar 173,92 ml/g VS dan nilai TS Removal sebesar 36,64%. Nilai pH optimum dalam penelitian ini adalah pH 6.

Kata kunci: Biogas, VFAs, Modifed Gomperzt, *Salvinia Molesta*, Co-Digestion

ABSTRACT

EFFECT of pH and C/N RATIO to BIOGAS PRODUCTION from CO-DIGESTION TOFU WASTE WATER and KIAMBANG (*Salvinia Molesta*)

Biogas is an alternative energy made from anaerobic fermentation by microorganisms made from an organic waste and producing methane gas. Biogas is produced through 4 processes which are hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis. Biogas production from tofu waste water with the addition of kiambang (*Salvinia molesta*) which aims to increase the carbon content of biogas products so it can be at the optimum ratio of C/N ratio, which is in the range of 20-30. This research has never been done by other researchers. The purpose of this study is to obtain the optimum composition of tofu waste water as a raw material for making biogas and obtain an optimum pH value in biogas production. In this study the volume of tofu waste water was measured according to the variation of the study. Kiambang that used is mashed and sifted first so it can be more easily digested by microorganisms. All of the raw materials are mixed according to the variations. Value of pH and volume are checked every three days and every fifteen days for a 60-day trial period, ammonium values are checked. The data taken is processed using the Modified Gompertz method. In this study the optimum variation of biogas is variation of C/N 21.09 at pH 6 where the volume of methane produced was 173.92 ml/g VS and TS Removal value was 36.64%. The optimum pH value in this study is pH 6.

Keywords: Biogas, VFAs, Modified Gompertz, *Salvinia Molesta*, Co-Digestion

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah yang maha ESA yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan proposal penelitian dengan segala bentuk kemudahan. Shalawat serta salam selalu diperuntukkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah memperkenalkan ilmu dengan segala kesempurnaannya.

Dalam pembuatan proposal penelitian tentu banyak kendala yang dihadapi, adapun dapat terlaksana berkat dorongan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak maka penyusunan proposal ini dapat terselesaikan sesuai waktu yang ditentukan, maka dalam kesempatan ini kami ucapkan termakasih kepada:

1. Allah SWT.
2. Bapak Endang Suhendi ST.,M.Eng selaku ketua jurusan Teknik Kimia
3. Bapak Rusdi ST., MT selaku dosen pembimbing 1.
4. Bapak Iqbal Syaichurrozi. ST., MT selaku dosen pembimbing 2.
5. Kedua orang tua kami yang selalu mendukung dan memberikan semangat dari berbagai sudut.
6. Teman-teman satu team biogas yang selalu kompak dalam bekerja sama.
7. Teman-teman teknik kimia angkatan 2014 yang selalu sugoi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal penelitian ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari berbagai pihak demi kebaikan bersama. Akhir kata penulis mengharapkan semoga proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan khususnya bagi pembacanya.

Cilegon, 27 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Biogas.....	5
2.2 Produksi Biogas	6
2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biogas	10
2.4 Limbah Cair Tahu	12
2.5 Kiambang (Salvinia Molesta)	15
2.6 Rumen	17
2.7 Penelitian terdahulu.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Roadmap Penelitian	20
3.2 Prosedur	21

3.3	Alat dan Bahan.....	22
3.4	Gambar Alat.....	23
3.5	Pengambilan Data	23
3.6	Pengolahan Data.....	24
3.7	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Variasi C/N Pada pH 6.....	25
4.2	Variasi C/N Pada pH 7.....	36
4.3	Variasi C/N Pada pH 8.....	43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Biogas	7
Gambar 2.2 Kiambang.....	16
Gambar 3.1 Roadmap Penelitian	22
Gambar 3.2 Rangkaian Alat Penelitian.....	23
Gambar 4.1 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 6.....	27
Gambar 4.2 Produksi Biogas Harian Pada Variasi pH 6	28
Gambar 4.3 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 6.....	30
Gambar 4.4 Total Solid Removal Pada Variasi pH 6	31
Gambar 4.5 Pengukuran TAN Pada Variasi pH 6	33
Gambar 4.6 Kandungan VFAs Pada Variasi pH 6.....	34
Gambar 4.7 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 7.....	36
Gambar 4.8 Produksi Biogas Harian Pada Variasi pH 7	37
Gambar 4.9 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 7.....	38
Gambar 4.10 Total Solid Removal Pada Variasi pH 7	39
Gambar 4.11 Pengukuran TAN Pada Variasi pH 7	41
Gambar 4.12 Kandungan VFAs Pada Variasi pH 7.....	42
Gambar 4.13 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 8.....	43
Gambar 4.14 Produksi Biogas Harian Pada Variasi pH 8	44
Gambar 4.15 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 8.....	45
Gambar 4.16 Total Solid Removal Pada Variasi pH 8	46
Gambar 4.17 Pengukuran TAN Pada Variasi pH 8	48
Gambar 4.18 Kandungan VFAs Pada Variasi pH 8.....	49
Gambar 4.19 Grafik Permodelan Biogas	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Biogas	5
Tabel 2.2 Kandungan Limbah Cair Industri Tahu.....	14
Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair Industri Tahu	14
Tabel 2.4 Kandungan Kiambang (<i>Salvinia Molesta</i>)	17
Tabel 2.5 Perbandingan hasil penelitian terdahulu	20
Tabel 3.1 Variasi Penelitian	21
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian	25
Tabel 4.1 Nilai C/N Sampe	26
Tabel 4.2 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH6	32
Tabel 4.3 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH 7	40
Tabel 4.4 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH 8	47
Tabel 4.5 Permodelan kinetika biogas	50
Tabel 4.6 Tabel Produksi Biogas	52

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir semua aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Sumber energi yang paling dominan sampai dengan saat ini berasal dari minyak bumi dan gas bumi^[1]. Akan tetapi, banyak sekali eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam yang membawa dampak negatif terhadap kehidupan, terlebih lagi krisis energi yang melanda negeri ini diperkirakan masih akan berlangsung beberapa tahun kedepan. Di tengah persoalan tersebut, pengembangan energi baru dan terbarukan seperti biogas menjadi solusi alternatif.

Biogas ialah salah satu dari energi alternatif yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan bahan baku sampah atau limbah yang mengandung senyawa organik dan proses yang mudah dalam pengaplikasiannya. Biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses *fermentasi* dari sampah organik secara *anaerobik* oleh mikororganisme sehingga menghasilkan gas metan^[2]. Menurut Rusdijati dan Setiawan^[3], salah satu faktor yang mempengaruhi produksi biogas ialah ketersediaan substrat (Rasio C/N). Rasio C/N ialah perbandingan sumber nutrisi yang dibutuhkan bagi bakteri *anaerob*, sehingga pertumbuhan bakteri dalam fermentasi biogas sangat dipengaruhi oleh unsur ini dimana karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri^[4].

Salah satu limbah yang mengandung rasio C/N dan berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biogas ialah limbah cair tahu^[5]. Pada industri pembuatan tahu, ada dua limbah yang dihasilkan yaitu berupa ampas (padat) dan *whey* (limbah cair tahu)^[6]. Ampas tahu sudah banyak diolah menjadi makanan ternak ataupun sebagai pupuk, tapi limbah cair tahu hanya dibuang disungai ataupun di saluran perairan warga. Limbah cair tahu mempunyai bau yang busuk dan mengandung bahan-bahan organik akan mengalami proses peruraian oleh mikroba dan dapat

mencemari lingkungan. Limbah cair tahu mengandung nilai COD/N sebesar 298,7 dan Nitrogen 13,5 mg/l^[5]. Setelah dikonversi menjadi rasio C/N limbah cair tahu hanya memiliki rasio C/N sebesar 16. Rasio C/N optimum untuk proses pembuatan biogas berkisar antara 25-30 dan 20-30 berbeda-beda setiap substrat dan perlakuan yang digunakan.^{[10][7]}. Untuk meningkatkan kandungan C/N pada limbah cair tahu agar bisa mencapai kondisi C/N yang optimum untuk pembuatan biogas maka perlu ditambahkan nutrisi lain yang mengandung unsur karbon yang tinggi. Untuk menaikkan kadar karbon pada limbah cair tahu, maka ditambahkan bahan baku lain yaitu adalah Kiambang (*Salvinia Molesta*).

Kiambang ialah suatu tumbuhan air yang banyak tumbuh di perairan Indonesia. Dimana pertumbuhannya sangat pesat sehingga memenuhi sungai, kolam, rawa, danau ataupun area persawahan. Walaupun pertumbuhannya pesat, tumbuhan ini tidak memiliki nilai ekonomis tinggi^[8]. Menurut Sutrisno^[9], kiambang memiliki rasio C/N sebesar 37,12. Kiambang dapat menyebabkan *blooming*, yaitu tumbuh sangat rapat sampai menutupi permukaan perairan. Daun lebar yang mengambang mencegah oksigen masuk ke permukaan air, sedangkan *Salvinia* membusuk dari bawah daun dan mengonsumsi oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh ikan dan organisme air lainnya^[10]. Kurniawan et al.^[11] menggunakan limbah campuran kiambang dan jeroan ikan patin sebagai bahan baku pembuatan biogas. Kiambang yang dicampur dengan limbah jeroan ikan patin dijadikan biomasa digester sesuai variabel komposisi substrat. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa perbandingan optimum campuran kiambang dan limbah jeroan ikan patin ialah (1:2).

Berdasar pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Huda dan Iswara^[12] yaitu tentang produksi biogas dari *digestion* limbah cair industri tapioka dan limbah cari industri tahu dengan variasi rasio C/N dan lumpur aktif. Pada variasi C/N jumlah produksi biogas dan gas metana terbesar pada rasio C/N 20 dengan volume biogas sebesar 9.798 mL dan gas metana 8.175 mL selama 60 hari, sedangkan pada variasi jenis lumpur aktif terbesar pada jenis lumpur aktif mikroba rumen sapi dengan jumlah biogas dan gas metana masing-masing sebesar 9.965 dan 8.147 mL. Untuk proses pembuatan biogas dengan *co-digestion* padat-padat telah dilakukan oleh

Pratama et al.^[10] yaitu menguji campuran biogas dengan campuran kiambang dan limbah jeroan ikan gabus. Hasil menunjukkan perbedaan komposisi substrat *slurry* pada reaktor 1 menghasilkan akumulasi biogas dan metana paling banyak yaitu 7,017 dan 3,803 mL/kg *slurry* dengan nilai removal per kg *slurry* tertinggi yaitu 0,34 g BOD, 9,60 g COD, 47,24 g TS, 21,21 g. Sedangkan reaktor 2 menghasilkan persentase metana tertinggi yaitu 60,73% dengan removal C/N tertinggi 1,23.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan diatas, belum ada yang menggunakan campuran limbah cair tahu dan kiambang sebagai bahan baku pembuatan biogas. Maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang menguji potensi produksi biogas dari campuran kiambang dan limbah cair tahu dengan mengetahui komposisi substrat campuran yang menghasilkan jumlah biogas maksimum dan dioperasikan pada reaktor *batch* skala laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Sampai sekarang ini teknologi pembuatan biogas dengan menggunakan bahan baku kotoran ternak sudah dikelan luas oleh masyarakat, padahal biogas juga bisa dibuat dari limbah pertanian, sampah organik serta sampah anorganik. Salah satu masalah yang timbul adalah banyaknya limbah organik seperti limbah cair tahu yang berasal dari industri pembuatan tahu yang dibuang ke perairan sehingga mencemari lingkungan. Disisi lain kiambang merupakan gulma air yang tumbuh sangat pesat tapi tidak memiliki nilai ekonomis. Sampai saat ini kiambang hanya dibuang, dibakar dan belum bisa dimanfaatkan. Padahal jika limbah cair tahu dan kiambang dimanfaatkan lebih jauh dapat diolah menjadi biogas yang sangat berguna bagi kehidupan sehari-hari.

Penelitian ini ingin menjelaskan proses pembuatan biogas dan potensi biogas yang dihasilkan dari pencampuran limbah cair tahu dan kiambang. Analisa yang dilakukan untuk mengetahui potensi biogas berupa analisa komposisi dan volume biogas yang dihasilkan dari masing masing variasi percobaan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian pembuatan biogas ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan perbandingan komposisi optimum dari kiambang dan limbah cair tahu sebagai bahan baku pembuatan biogas.
2. Mendapatkan nilai pH optimum dalam pembuatan biogas.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi beberapa variabel yaitu variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap terdiri dari waktu percobaan selama 60 hari, pelarut yang digunakan adalah air, serta volume rumen sapi yang ditambahkan. Sedangkan variabel bebas terdiri dari komposisi limbah cair tahu berbanding dengan kiambang dan pH pada sampel. Sampel yang diambil akan dilakukan beberapa pengujian parameter yaitu, kandungan gas metana yang dihasilkan, volume gas, pH dan temperatur.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diperoleh dalam penelitian ini ialah:

1. Dapat menaikkan nilai guna dari limbah cair tahu dan gulma kiambang.
2. Mengetahui proses pembuatan biogas dari campuran limbah cair tahu dan kiambang.
3. Mengetahui nilai pH optimum untuk produksi biogas.
4. Sarana pemanfaatan limbah menjadi sumber tenaga alternatif biogas.
5. Mendapatkan sumber energi alternatif selain energi minyak dan gas bumi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah gas produk akhir degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh mikroorganisme anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara^[12]. Dapat dilihat pada Tabel 2.1 beberapa komponen yang ada di dalam kandungan biogas adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komponen Biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0.3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0.1-0.5

Sumber: Huda dan Iswara^[12]

Biogas mempunyai sifat mudah terbakar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah atau elpiji untuk memasak dan penerangan, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan^[13]. Bahan baku utama yang dapat digunakan dalam proses pembuatan biogas adalah limbah yang berasal dari bahan organik, contohnya adalah kotoran ternak, limbah pertanian, limbah industri tahu, dan tumbuh-tumbuhan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan biogas.

Pemanfaatan energi biogas adalah sebagai pengganti bahan bakar khususnya minyak tanah dan gas elpiji yang dipergunakan untuk memasak kemudian digunakan juga sebagai pengganti bahan bakar minyak (bensin dan solar). Pada

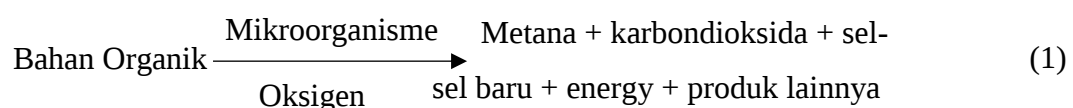
penelitian proses pembuatan biogas dari limbah cair tahu yang sudah dilakukan oleh Abas Sato dkk. biogas yang terbentuk dapat dijadikan bahan bakar karena mengandung gas metan (CH_4) dalam persentasenya yang cukup tinggi (50 – 70 %)^[14].

2.2 Produksi Biogas

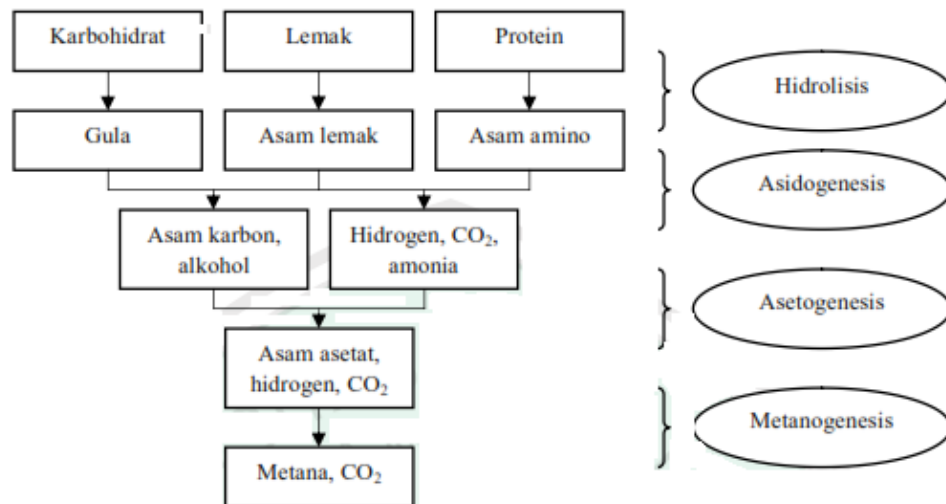
Pada produksinya pembuatan biogas sendiri relatif sederhana, prinsip dasarnya adalah memasukkan substrat berupa bahan organik seperti limbah cair industri tahu atau limbah pertanian lainnya ke dalam tabung reaktor atau *digester* yang anaerob. Substrat atau bahan organik dalam tabung *digester* mengalami fermentasi yang dilakukan oleh mikroorganisme anaerob sehingga menghasilkan biogas yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Gas yang dihasilkan selama proses fermentasi dalam *digester* sebagian besar berupa gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Proses terbentuknya biogas dari material organik yang terkumpul pada *digester* (reaktor) diuraikan menjadi dua tahap dengan bantuan bakteri atau mikroorganisme^[1]. Tahap pertama material organik didegradasi menjadi asam lemah oleh bakteri pembentuk asam. Bakteri tersebut menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana. Setelah material organik berubah menjadi asam, maka tahap kedua dari proses anaerobik digestion adalah pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, *methanobacterium*. Perkembangan proses *anaerobik digestion* telah berhasil pada banyak aplikasi^[15].

Pradhan dan Gireesh^[16] menyatakan bahwa dalam proses digesti anaerob terdapat sejumlah bakteri yang terlibat. Secara umum prinsip digesti anaerob adalah sebagai berikut^[17]:



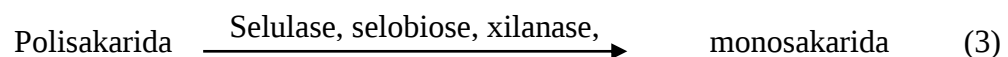
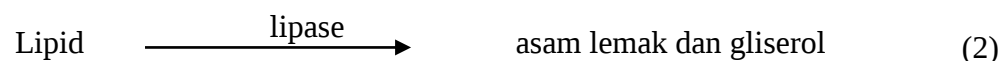
Proses pembentukan biogas akan melewati 4 tahap, dimulai dari tahap hidrolisis, kemudian acidogenesis, asetogenesis, dan terakhir tahap metanogenesis^[12]. Berikut ini tahapan pembentukan biogas:

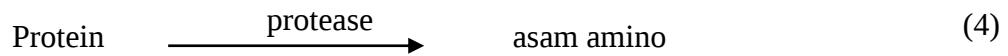


Gambar 2.1 Tahapan pembentukan biogas^[15]

A. Tahap Hidrolisis

Bahan Organik yang terdiri dari karbohidrat, lemak, protein yang terdapat pada material organik terhidrolisis. Sejumlah *α-glycosidic carbohydrates* seperti zat tepung, sukrosa, glikogen, dan amilase terhidrolisis oleh enzim amilase yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Menurut Padmono^[18], Enzim ini merusak polisakarida dengan memutus ikatan rantai glikosidik menjadi monosakarida. Sedangkan protein akan di hidrolisis oleh enzim protease dan peptidase, kedua enzim ini sebagian bersumber dari dinding sel mikroorganisme dan sebagian lagi terdapat bebas dalam reaktor^[19]. Produk yang dihasilkan larut di dalam air yang selanjutnya digunakan oleh bakteri pembentuk asam. Reaksinya pembentukannya adalah:

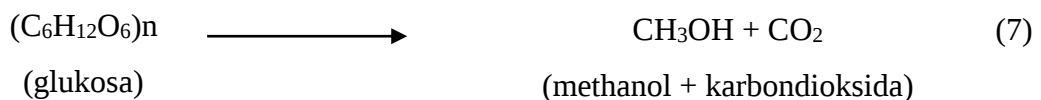
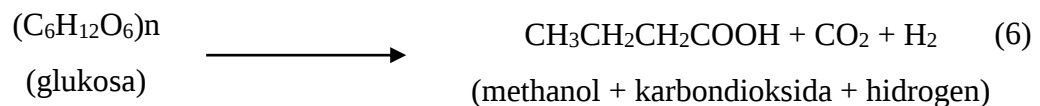




Sumber: Fusvita^[17]

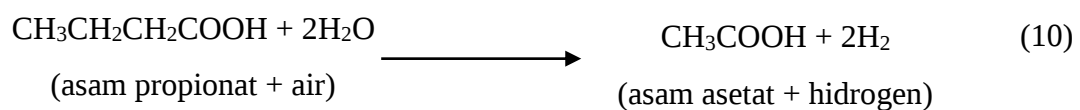
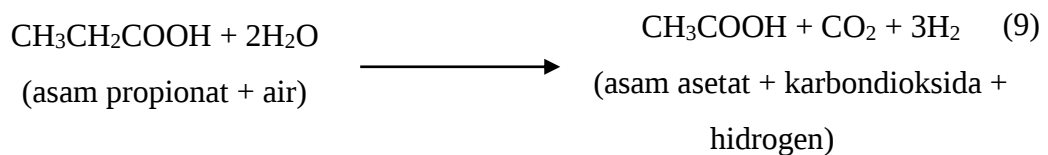
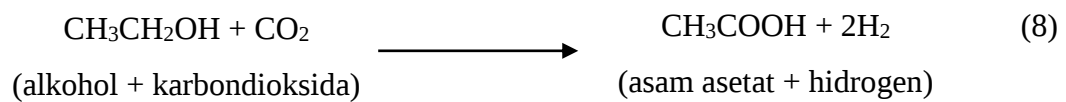
B. Tahap Asidogenesis

Dari materi yang telah dihidrolisis secara enzimatik pada tahap hidrolisis, bahan organik akan dikonversi menghasilkan asam amino^[18]. Pada tahap ini selain pembentukan asam volatile yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energy juga dihasilkan karbondioksida (CO₂). Salah satu jalur yang palinh penting dalam pembentukan volatile ini adalah pembentukan H₂, seperti dikemukakan oleh Breure et al.^[19] bahwa reaksi enzimatik pyruvate lyase terhadap piruvat menghasilkan H₂, CO₂ dan acetyl coenzyme-A (acetyl-coA). Reaksi ini terjadi dalam kondisi anaerob oleh bakteri dari genus Clostridium dan beberapa bakteri yang terdapat dalam isi rumen. Akumulasi bahan oraganik yang terurai menjadi asam volatile dapat mengakibatkan penurunan pH secara progresif dari 7 menjadi 5 yang dapat mengganggu proses dekomposisi terutama bagi bakteri pembentuk metana yang rentan terhadap pH^[18]. Adapun reaksi asidogenesis adalah sebagai berikut^[20]:



C. Tahap Asetogenesis

Hasil asetogenesis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana berupa asetat, hydrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70% dari COD semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hydrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya. Etanol, asam propionat dan asam butirat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂)^[21]. Reaksi pada tahap ini adalah sebagai berikut^[17]:



D. Tahap Metanogenesis

Metanogenesis merupakan tahap terakhir dari semua tahap konversi anaerobic dari bahan organik menjadi metan dan karbondioksida, pada tahap awal pertumbuhannya bakteri metanogenik bergantung pada ketersediaan nitrogen dalam bentuk ammonia dan jumlah substrat yang digunakan. Bakteri metogenik mensintesis senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi, sebagai contoh bakteri ini menggunakan H₂, CO₂, dan asam asetat untuk membentuk senyawa metana dan CO₂^[6]. Pada dasarnya produksi gas metana dan karbondioksida dibantu oleh bakteri metanogen, 70% gas metan terbentuk dari asam asetat dan 30% diproduksi dari konversi antara hidrogen dengan karbondioksida^[22].

2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biogas

Keberhasilan proses pembuatan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor. Lingkungan sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan aktivitas bakteri dalam proses fermentasi anaerob. Kondisi lingkungan yang optimal, akan mendukung aktivitas bakteri dalam melakukan proses fermentasi anaerob yang optimal, sehingga menghasilkan produksi biogas yang optimal^[23]. Kondisi lingkungan yang perlu diperhatikan, antara lain adalah sebagai berikut:

a. Lingkungan Abiotik

Proses methanogenesis dalam reaktor yang dilakukan oleh bakteri methanogen terjadi secara anaerob sempurna. Oleh karena itu tabung reaktor / digester harus kedap, sehingga oksigen (O_2) yang masuk jumlahnya minimal. Meskipun, masuknya oksigen tidak menyebabkan kegagalan total dari proses fermentasi anaerob, namun pertumbuhan dan produksi biogas tidak sepenuhnya dalam kondisi anaerob. Dengan demikian, adanya konsentrasi O_2 dalam fermentasi anaerob akan menghambat produksi gas metana. Penurunan gas metana seiring dengan jumlah penambahan O_2 dalam fermentasi anaerob.

b. Temperatur

Aktivitas mikroorganisme pada pembentukan biogas juga dipengaruhi oleh temperatur. Secara umum ada tiga range temperatur dalam proses fermentasi anaerob, yaitu:

- 1). Thermophilic, fermentasi terjadi pada range temperatur 47 – 55 °C.
- 2). Mesophilic, fermentasi terjadi pada range temperatur 35 – 38 °C.
- 3). Psicrophilic, fermentasi terjadi pada range temperatur 4 – 20 °C.

Menurut Harahap^[24], fermentasi anaerob pada *digester* dapat berlangsung pada temperatur 5 – 55 °C. Sedangkan temperatur optimal untuk fermentasi anaerob adalah 35 °C.

c. Derajat Keasaman (pH)

Fermentasi anaerob dapat berlangsung dengan baik jika pH bahan organik di dalam digester diupayakan 6,6 – 7,0 dengan pH optimum 7,0 – 7,2. Pada awal pencernaan dalam digester, pH bahan isian dalam digester dapat turun menjadi 6 atau lebih rendah. Walaupun bakteri pembentuk asam dapat berkembang dengan baik pada pH kurang dari 6, berbanding terbalik dengan bakteri methanogen yang pertumbuhannya malah menjadi terhambat^[15].

d. Rasio C/N

Unsur karbon (C) dalam proses fermentasi anaerob diperlukan untuk pembentukan gas metana, sedangkan unsur nitrogen (N) diperlukan oleh bakteri untuk pembentukan sel yang baru. Ratio C/N yang ideal untuk pembuatan biogas adalah 20-30 ^{[10][7]}. Apabila ratio C/N bahan organik tinggi, berarti kadar karbon lebih banyak dari pada kadar nitrogen, sehingga mikroorganisme akan kekurangan nitrogen untuk metabolisme yang akan mengakibatkan terhambatnya proses perkembangan dari organisme dan menyebabkan produksi biogas akan berkurang. Sebaliknya, jika ratio C/N rendah, maka unsur karbon akan habis terlebih dahulu dan unsur nitrogen akan hilang membentuk ammonia (NH₃). Untuk mendapatkan ratio C/N yang ideal, perlu dilakukan penambahan bahan yang mengandung karbon atau nitrogen yang tinggi.

e. Kadar Bahan Kering Isian

Kadar bahan kering dalam bahan organik yang dimasukan digester ikut berperan terhadap jumlah biogas yang dihasilkan. Kebutuhan air tiap bakteri berbeda-beda untuk aktifitasnya. Jika air yang terkandung dalam bahan dalam kapasitas tepat, maka aktifitas bakteri dapat berlangsung secara optimal, sehingga fermentasi anaerobjuga menjadi optimal. Oleh karena itu produksi biogas juga ditentukan oleh kadar kering bahan isian. Kadar kering bahan isian yang optimal adalah 7 – 9%. Kadar bahan kering kotoran sapi potong adalah 20,86% dan kadar bahan kering isian adalah 7,82%^[25].

f. Pengadukan

Pengadukan kotoran sapi dan air sangat penting dilakukan agar kontak antara bahan isian dengan mikroorganisme berjalan secara optimal, sehingga produksi biogas optimal. Pengadukan slurry dalam digester dilakukan untuk menghindari terbentuknya lapisan kerak pada dasar digester dan permukaan atas slurry, yang akan menghambat keluarnya biogas dari digester. Selain itu, pengadukan juga bermanfaat untuk memberikan kondisi temperatur yang seragam pada digester.

g. Zat Toxic (Zat Penghambat)

Zat toxic adalah zat yang dapat membunuh mikroorganisme yang diperlukan dalam pembuatan biogas, seperti air sabun, cerolin dan lain-lain. Oleh karena itu, bahan pembuatan biogas harus dihindarkan dari terkontaminasi oleh zat toxic agar fermentasi anaerob dapat berlangsung dengan baik.

h. Starter yang Digunakan

Starter adalah bahan yang mengandung bakteri methanogen yang berfungsi untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Berdasarkan jenisnya, starter yang digunakan dikenal dengan 3 macam starter, yaitu^[24]:

- 1) Starter alami : berasal dari alam, misalnya lumpur aktif, *sludge*, timbunan kotoran dan timbunan sampah.
- 2) Starter semi buatan : berasal dari instalasi unit biogas yang dalam keadaan aktif.
- 3) Starter buatan : bakteri methanogen yang dibiakkan secara laboratoris dengan media buatan.

2.4 Limbah Cair Tahu

Tahu merupakan salah satu jenis makanan yang dibuat dari bahan dasar kedelai. Proses pembuatan tahu dengan cara memekatkan protein kedelai dan mencetaknya melalui proses pengendapan protein dengan atau tanpa penambahan unsur-unsur lain. Ditinjau dari segi kesehatan, tahu merupakan makanan yang

sangat menyehatkan dan memiliki kandungan zat yang sangat diperlukan untuk memperbaiki gizi masyarakat^[26].

Proses pembuatan tahu dapat menghasilkan limbah yaitu limbah cair tahu. Limbah cair tahu berasal dari proses pembuatan, proses penyaringan, proses penekanan, pencucian kedelai, pencucian peralatan, pencucian lantai, dan air bekas rendaman kedelai. Limbah cair tahu mengandung zat padat tersuspensi misalnya potongan tahu yang hancur pada saat pemrosesan karena kurang sempurna pada saat penggumpalan. Limbah cair tahu pada umumnya mengandung kadar protein yang tinggi. Potensi limbah cair hasil pengolahan tahu bisa menjadi salah satu faktor pencemaran lingkungan.

Limbah cair tahu tersedia banyak di Indonesia, karena tahu hampir menjadi makanan sehari-hari. Data konsumsi tahu di Indonesia mencapai 7,4kg / orang / tahun. Menurut sumber BPPT, setiap 80 kg tahu yang diproduksi akan menghasilkan limbah cair tahu sebanyak 2.610 kg. Angka ini terbilang sangat besar perbandingannya, dimana dibandingkan dengan jumlah limbah yang dihasilkan pertahun. Padahal, dalam limbah cair tahu mengandung banyak sekali bahan-bahan organik yang bias diurakan kembali seperti dibuat menjadi biogas. Senyawa-senyawa organik dalam limbah cair tahu tersebut berupa protein, lipid, lemak, dan karbohidrat^[27]. Limbah cair tahu mengandung beberapa material organik, kebanyakan terdiri dari *lipid* dan *Protein*. Menurut Singh^[28] limbah cair tahu mengandung bahan organik seperti *lipid* dan *protein* sebesar 40-60% (226,06 mg/L sampai 434,78 mg/L) dan komponen lain seperti karbohidrat sebesar (25% - 50%), dan lemak (10%)^[28].

Pada umumnya limbah cair pabrik tahu ini langsung dibuang ke sungai melalui saluran-saluran. Bila air sungai cukup deras dan lancar serta pengenceran cukup (daya dukung lingkungan masih baik) maka air buangan tersebut tidak menimbulkan masalah. Tetapi bila daya dukung lingkungan sudah terlampaui, maka air buangan yang banyak mengandung bahan-bahan organik akan mengalami proses peruraian oleh mikroba dan dapat mencemari lingkungan. Parameter air limbah tahu yang biasanya diukur antara lain temperatur, pH, padatan-padatan

tersuspensi (TSS) dan kebutuhan oksigen BOD dan COD^[29]. Tabel 2.2 menunjukkan kandungan limbah cair tahu.

Tabel 2.2 Kandungan Limbah Cair Industri Tahu

Parameter	%
Kadar Air	84-85
Protein	5
Lemak	1,2
Serat Kasar	5,8
Abu	0,8

Sumber: Rolasty dan Hari^[6]

Limbah tahu cair yang dibuang ke lingkungan merupakan limbah organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme secara alamiah. Limbah pengolahan industri tahu yang berbentuk limbah cair, jika ingin dibuang ke lingkungan, maka harus memenuhi baku mutu limbah cair^[30].

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair Industri Tahu

Nomer Sample	COD (mg/l)	COD/N	N-total (mg/l)	pH
1	576	298,7	13,5	4,2

Sumber: Syaichurrozi et al.^[5]

Tabel 2.3 menunjukkan kandungan BOD dan COD dalam limbah tahu yang diambil dari industri tahu di Kota Serang, Provinsi Banten, Indonesia. Dengan nilai COD sebesar 576 mg/l sudah dipastikan bahwa limbah cair tahu mengandung bakteri organik yang cukup banyak. Ini akan sangat berbahaya bila langsung dibuang ke lingkungan. Selain dari data diatas, komponen terbesar dari limbah cair tahu yaitu protein (N-total) sebesar 13,5 mg/l, sehingga masuknya limbah cair tahu ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut^[5].

Dalam limbah cair tahu juga mengandung gas yang dihasilkan dari keberadaan mikroorganisme di dalamnya. Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah tahu adalah gas nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan^[31].

Gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan-bahan organik seperti limbah cair tahu di bawah kondisi anaerobik (tidak memerlukan Oksigen). Gas yang dihasilkan dari bahan organik tersebut sebagian besar terdiri dari campuran metan dan karbon dioksida. Gas ini dikenal dengan gas rawa atau biogas. Campuran gas ini adalah hasil dari proses fermentasi atau peranan bakteri anaerobik terutama bakteri metan. Suhu yang ideal untuk berlangsungnya proses fermentasi ini adalah dari 30°C hingga 55°C. Prinsip kimia yang berkaitan dengan pembentukan biogas adalah prinsip terjadinya fermentasi dari semua karbohidrat, lemak, dan protein oleh bakteri metan apabila tidak bercampur dengan udara^[32].

Menurut Bernhard et al.^[33] unsur unsur penting didalam *feedstock* dari biogas salah satunya ialah *Nitrogen Content*. Limbah cair tahu ini lah yang akan menurunkan kadar ratio C/N dalam bahan pembuat biogas^[33]. Menurut Kaswinarni^[29], selain PH, faktor lain yang mempengaruhi produksi biogas ialah rasio C/N menunjukkan hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang ada dalam suatu materi organik. Rasio C/N yang tinggi mengindikasikan adanya konsumsi nitrogen yang cepat oleh bakteri metanogen dan menghasilkan produksi gas yang rendah. Sebaliknya, dengan rasio C/N yang rendah, maka akan menyebabkan akumulasi amonia dan nilai pH yang melebihi 8,5 dan ini bersifat racun bagi bakteri metanogen^[29].

2.5 Kiambang (*Salvinia Molesta*)

Kiambang merupakan salah satu tanaman paku atau gulma akuatik mempunyai nama latin *Salvinia Molesta* yang banyak dijumpai pada perairan, seperti di sungai, danau dan waduk yang mengalami eutrofikasi. Kiambang merupakan tumbuhan rawa yang ketersediaannya melimpah, khususnya di perairan rawa dan sungai

bayah. Tumbuhan ini tidak memiliki nilai ekonomi tinggi, kecuali sebagai sumber humus^[34].

Menurut Soejarni dan Pancho^[35] kiambang (*Salvinia Molesta*) dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

Divisi	: <i>Pteridophyta</i>
Kelas	: <i>Pterophyta</i>
Sub Kelas	: <i>Lestosporangiate</i>
Ordo	: <i>Salviniales</i>
Famili	: <i>Salviniaceae</i>
Genus	: <i>Salvinia</i>
Spesies	: <i>Salvinia molesta</i>



Gambar 2.2 Kiambang

Kiambang dapat menyebabkan blooming, yaitu tumbuh sangat rapat sampai menutupi permukaan sungai atau danau. Tingkat pertumbuhan yang cepat dari Kiambang dapat mengakibatkan penutupan yang luas di permukaan air, menyebabkan habitat alami mengalami penurunan. Kiambang dapat merusak ekosistem perairan dan mengganti tanaman asli yang menyediakan makanan dan habitat bagi hewan asli dan unggas air. Daun lebar yang mengambang mencegah oksigen masuk ke permukaan air, sedangkan *Salvinia* membusuk dari bawah daun dan mengkonsumsi oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh ikan dan organisme air lainnya. Deplesi oksigen yang berlebihan tersebut dapat mengakibatkan ikan terbunuh. Selain itu cahaya menjadi terbatas dan mempengaruhi pertumbuhan dan

kelangsungan hidup fitoplankton^[8]. Menurut Winarni et al.^[8], pada prinsipnya biomassa gulma berpotensi sebagai bahan untuk pembuatan bioenergi, seperti biogas, dan bioethanol. Tabel 2.4 menunjukkan hasil analisa kandungan kiambang.

Tabel 2.4 Kandungan Kiambang (*Salvinia Molesta*)

<i>No.</i>	<i>Komponen</i>	<i>Kadar 100% BK</i>
1	Air	14,19
2	Abu	36,27
3	Kadar Lemak Kasar	1,3
4	Kadar Protein Kasar	10,29
6	Nitrogen	1,65
7	Volatile Solid	63,73
8	Total Organic Carbon	35,41
9	C/N	21,50

Sumber: Hasil Penelitian Universitas Diponogoro

2.6 Rumen

Rumah potong hewan (RPH) selain menghasilkan daging, tapi menghasilkan produk samping yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan biogas. Ada beberapa bahan yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan biogas, yaitu Rumen sapi dan Kotoran sapi. Rumen sapi mengandung banyak senyawa organik^[36]. Dengan adanya senyawa organik didalam rumen sapi ini membuat mikroorganisme berkembang dengan baik. Rumen sapi ini belum bisa dimanfaatkan dengan baik, dan hanya dibuang di aliran air sungai sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Walaupun rumen sapi ini merupakan limbah, tapi rumen sapi mempunyai potensi sebagai *starter* dalam pembentukan biogas. Pengolahan limbah cairan isi rumen dan kotoran sapi dapat dilakukan dengan cara fermentasi anaerob (tanpa kehadiran oksigen), merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Pada proses tersebut bahan

organik akan didegradasi oleh mikroba dan dapat menghasilkan biogas. Menurut Presto dan Leng dalam Priyatno^[37], di dalam rumen sapi dan kerbau, hidup beberapa jenis mikroba seperti bakteri, fungi, yeast dan protozoa. Kelompok bakteri merupakan jenis mikroba yang jumlahnya paling banyak terdapat di dalam rumen. Menurut Syaichurrozi et al.^[5], bakteri yang terkandung dalam rumen sapi adalah *Clostridium* sp, *Clostridiumsporogenes*, *Clostridium butyricum* and richmethanogenic bacteria. Salah satu dari jenis bakteri yang hidup dalam rumen tersebut adalah bakteri metanogenik, yang merombak zat organik menjadi gas metana^[38].

2.7 Penelitian terdahulu

Dalam riset yang dilakukan oleh Kaswinarni^[29] di salah satu industri pembuatan tahu di Dusun Kanoman, Desa Gagaksipat, Kecamatan Ngemplak Boyolali salah satu pengolahan limbah cair tahu yaitu dengan sistem *Anaerob-biogas* dimana biogas yang dihasilkan digunakan sebagai sarana penerangan (lampu petromak) dan juga untuk bahan bakar memasak. Pembuatan biogas di desa tersebut dengan skala besar dan membutuhkan tempat reaktor biogas yang besar^[29].

Penelitian terdahulu selanjutnya dilakukan oleh Setiawan et al.^[32] dalam penelitiannya, metode yang dipilih ialah metode *Taguchi*. Metode ini merupakan metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*^[32]. Dalam penelitiannya, Setiawan et al.^[32] menyimpulkan bahwa dalam menghasilkan biogas dengan limbah cair tahu yang berkualitas, yaitu berat kering diatur dengan perbandingan penambahan air sebesar 1:1, suhu digester diatur secara konstan pada temperatur 35°C, serta pH limbah cair diatur berada pada kisaran 6,8, dan rasio C/N diatur pada level tertinggi karena Carbon digunakan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme dan Nitrogen digunakan untuk membangun struktur sel^[32].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Pratama et al.^[10]. Dalam penelitiannya, biomassa kiambang dan limbah jeroan ikan gabus dijadikan bahan baku utama

dalam pembuatan biogas. Parameter yang diamati pada penelitiannya meliputi laju pembentukan biogas dan volume biogas yang didapatkan, serta parameter pada *slurry*, meliputi suhu, pH, BOD, COD, TS, dan rasio C/N. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil komposisi kiambang dan limbah jeroan ikan gabus yang optimal pada rasio 2:1.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Huda dan Iswara^[12] yaitu tentang produksi biogas dari *co-digestion* limbah cair industri tapioka dan limbah cair industri tahu dengan variasi rasio C/N dan lumpur aktif. Penelitian ini juga dilakukan dengan memvariasikan jenis lumpur aktif, yakni menggunakan lumpur aktif dari rumen sapi, lumpur aktif limbah cair industri tapioka dan lumpur aktif limbah cair industri tahu pada rasio C/N 30. Pada variasi C/N jumlah produksi biogas dan gas metana terbesar pada rasio C/N 20 dengan volume biogas sebesar 9798 mL dan gas metana 8175 mL selama 60 hari, sedangkan pada variasi jenis lumpur aktif terbesar pada jenis lumpur aktif mikroba rumen sapi dengan jumlah biogas dan gas metana masing-masing sebesar 9965 dan 8147 mL.

Selanjutnya penelitian tentang produksi biogas dari kiambang dilakukan oleh Abbasi dan Nipanay^[39]. Dalam penelitiannya pembuatan biogas dari kiambang, dilakukan *treatment* menggunakan *zinc*. Data menunjukkan biogas yang dihasilkan optimal saat penambahan *zinc* sebesar 10 ppm. Pada penambahan *zinc* sebesar 100 ppm, biogas tidak dapat terproduksi. Ini karena *zinc* yang terlalu banyak bersifat racun bagi mikroorganisme biogas.

Penelitian terdahulu selanjutnya ialah penelitian yang dilakukan Syaichurrozi et al.^[5] yaitu tentang pembuatan biogas yang berbahan baku dari campuran limbah vinase dan limbah cair tahu. Dalam penelitiannya rasio perbandingan antara limbah vinase dan limbah cair tahu yang paling maksimal terdapat pada rasio VW:TW sebesar 20:80 (COD/N = 1042/7) dan menghasilkan 159,01 ml/g biogas. Pada tabel 2.5 menunjukkan perbandingan hasil dari penelitian terdahulu.

Tabel 2.5 Perbandingan penelitian terdahulu

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Fibria kaswinarni (2007)	Metode anaerobic digestion dengan bahan limbah cair tahu yang diambil dari 3 tempat berbeda.	limbah cair tahu yang menghasilkan biogas yang terbaik dari IPAL sederhana Kendal dan membutuhkan reaktor yang besar.
2	Setiawan et.al (2014)	Metode <i>Taguchi</i>	Produksi biogas yang baik berada pada penambahan air 1:1, suhu 35 ⁰ C, serta pH digester diatur pada kisaran 6.8 dan rasio C/N diatur pada level tertinggi.
3	Pratama et.al (2015)	Metode co-digestion antara kiambang dan limbah jeroan ikan gabus.	Volume biogas yang dihasilkan sebesar 7.017 dan 3.803 mL/kg <i>slurry</i> dengan nilai <i>removal</i> per kg <i>slurry</i> tertinggi yaitu 0,34 g BOD, 9,60 g COD, 47,24 g TS, 21,21 g VS.
4	Huda dan Iswara (2015)	Metode co-digestion limbah cair tahu industri tapioka dan limbah cair industri tahu.	Pada variasi C/N jumlah produksi biogas dan gas metana terbesar pada rasio C/N 20 dengan volume biogas sebesar 9798 mL dan gas metana 8175 mL selama 60 hari
5	Abbasi dan Nipaney (1985)	Pembuatan biogas dengan treatment menggunakan zinc.	Biogas yang optimum ialah yang dilakukan treatment dengan menggunakan zinc sebesar 10 ppm.
6	Syaichurrozi et al. (2016)	Metode co-digestion limbah	Perbandingan limbah vinase dan limbah cair tahu yang paling

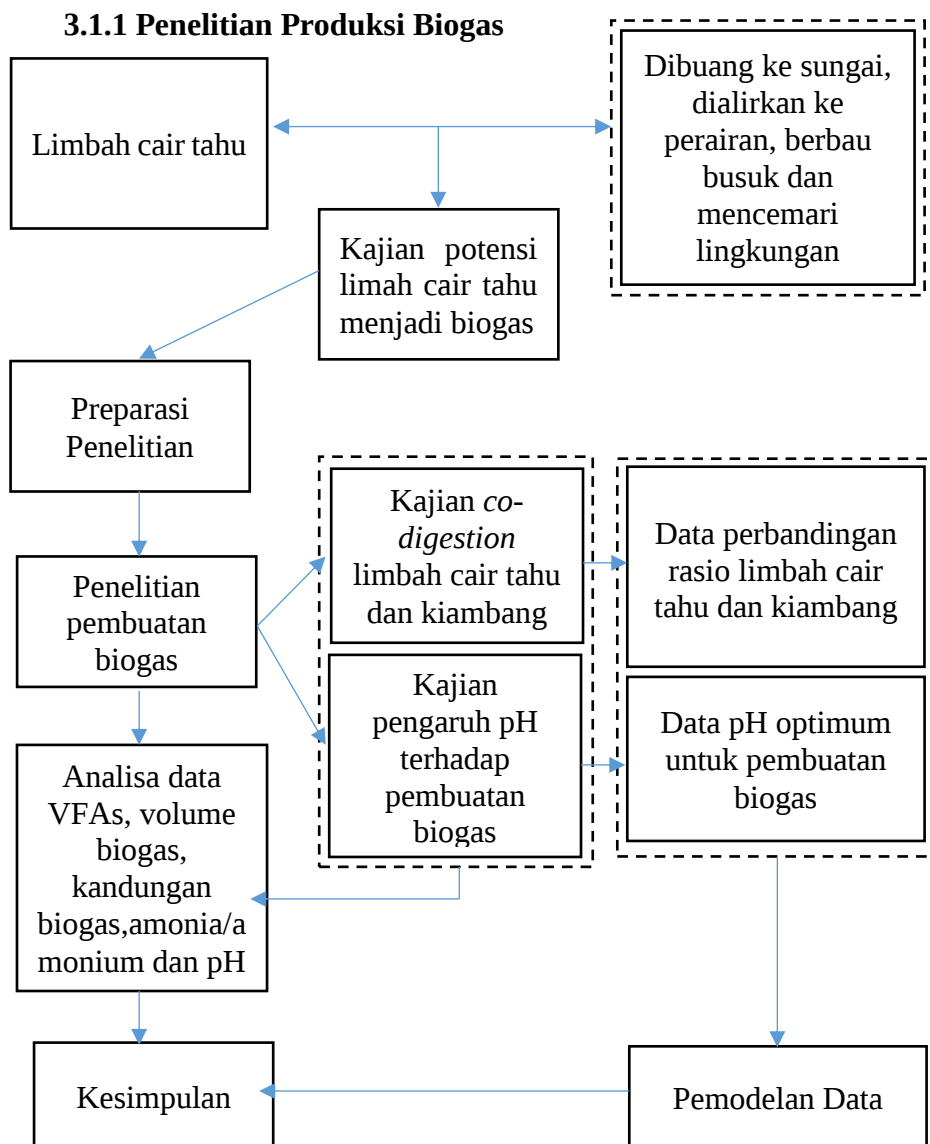
cair tahu dan optimal berada pada rasio limbah vinase VW:TW sebesar 20:80 dan menghasilkan 159,01 ml/g biogas.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Roadmap Penelitian

Pada gambar 3.1 menunjukan roadmap penelitian produksi biogas.



Gambar 3.1 Roadmap Penelitian

3.1.2 Variasi Penelitian

Pada tabel 3.1 menunjukan variasi pada penelitian ini

Tabel 3.1 Variasi Penelitian

Percobaan	Kiambang (gr)	Limbah cair tahu (ml)	Rumen (ml)	pH	Hasil terbaik
1	0	250	25	6	Perbandingan pH terbaik tanpa penambahan kiambang
2		250	25	7	
3		250	25	8	
4	3	250	25	6	
5		250	25	7	
6		250	25	8	
7	5	250	25	6	Perbandingan pH dan komposisi campuran kiambang terbaik
8		250	25	7	
9		260	25	8	
10	7	250	25	6	
11		250	25	7	
12		250	25	8	

3.2 Prosedur

Dalam penelitian ini biogas diproduksi dengan memanfaatkan limbah cair tahu dan kiambang (*salvinia molesta*). Limbah cair tahu dipisahkan dan diukur volumenya sebanyak 250 ml. Kiambang yang telah dikeringkan dengan menggunakan oven kurang dari 60°C dan dilakukan pengujian komposisi karbon dan nitrogen di laboratorium konversi energi, Teknik Kimia Universitas Dipenogoro. Kemudian kiambang dihaluskan menjadi ukuran 25 mm yang tujuannya agar lebih mudah diubah oleh mikroorganisme. Dalam percobaannya, limbah cair tahu dicampurkan dengan kiambang sesuai dengan variasi penelitian di tabel 3.5, begitu juga dengan volume rumen sapi yang dicampurkan. Melakukan

percobaan sesuai dengan tabel 3.5 selama 60 hari. Kemudian melakukan pengecekan amonium, setiap 15 hari sekali, serta mengecek pH dan volume biogas setiap setiap 3 hari sekali. Lalu mengambil data total solid di hari pertama dan hari terakhir penelitian. Pengecekan kadar biogas yang dihasilkan dengan metode *Liquid Displacement Method*, yaitu memasukkan selang penghubung antara reaktor biogas dengan gelas ukur yang berisi air sehingga akan mendorong air pada volume tertentu. Selanjutnya melakukan pengujian kadar metana yang dihasilkan dari produksi biogas yang diuji di laboratorium dengan metode *Gas Chromatography*.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

3.3.1 Alat

1. Botol digester biogas	24 buah
2. Gelas ukur	2 buah
3. Ember	2 buah
4. Selang plastik	1 buah
5. PH meter	1 buah
6. Gelas beker 1000ml	3 buah

3.3.2 Bahan

1. Kiambang (*salvinia molesta*)
2. Limbah cair tahu
3. Air
4. Rumen sapi

3.4 Gambar Alat

Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian alat pada penelitian proses pembuatan biogas yang digunakan:



Gambar 3.2 Rangkaian Alat Penelitian^[40]

3.5 Pengambilan Data

Pada penelitian ini, parameter yang diukur ialah pH, volume biogas, kandungan biogas yang dihasilkan, Total Solid, dan amonium. Dilakukan pengukuran data Total Solid sebelum dan sesudah penelitian dengan cara mengambil sampel beberapa ml ke dalam cawan kosong yang telah ditimbang beratnya dengan neraca analitik lalu dipanaskan di oven dengan suhu 110°C selama kurang lebih 3 jam. Kemudian mendinginkannya didalam desikator selama 15 menit dan menimbanganya di neraca analitik . Selisih berat cawan sebelum dan sesudah diisi sampel ialah *Total Solid*. Volume biogas dan pH diukur setiap 3 hari sekali serta ammonium diukur setiap 15 hari sekali. Analisa volume biogas dilakukan dengan metode *Liquid Displacement Method*, yaitu dengan menghubungkan selang biogas dari botol biogas (reaktor) ke dalam gelas ukur di dalam sebuah bejana berisi air. Dimana akan terjadi perbedaan ketinggian permukaan air di dalam gelas ukur dan bejana sehingga dapat terukur volume biogasnya. Penelitian ini dilakukan selama

60 hari. Dimana hasil akhir biogas akan dianalisa kandungannya seperti kandungan gas metannya di laboratorium dengan metode *Gas Chromatography*.

3.6 Pengolahan Data

Data penelitian diolah lebih lanjut dengan menggunakan persamaan *Gompertz* yang dimodifikasi.

$$y(t) = y_m \cdot \exp \left\{ - \exp \left[\frac{U \cdot e}{y_m} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}, t \geq 0 \quad (11)$$

Dimana $y(t)$ ialah volume biogas kumulatif per waktu (mL), y_m ialah potensi produksi biogas (mL), U ialah laju pembentukan biogas maksimal (mL per hari), λ ialah *lag period* (hari), dan k_{hyd} ialah laju hidrolisis (/hari). Dari persamaan ini dapat diperoleh *yield* biogas akumulasi. Lalu mencari nilai Total Solid Removal dengan rumus berikut:

$$\%TS \text{ Removal} = \frac{TS1 - TS2}{TS1} \times 100 \quad (12)$$

Dimana $TS1$ ialah total solid sebelum percobaan dan $TS2$ ialah total solid sesudah percobaan.

Untuk perhitungan ammonia menggunakan persamaan berikut^[46]

$$Amonia = Amonium \times \left[1 + \frac{10^{-pH}}{10^{-\left(0.1075 + \frac{2725}{T}\right)}} \right]^{-1} \quad (13)$$

Dimana T adalah absolut temperature (K). untuk perhitungan kandungan VFAs ialah sebagai berikut

$$VFAs = \frac{pH \times (amonia + amonium)}{(9.43 - 2.02)} \quad (14)$$

Selain parameter kinetika biogas diatas, data yang diperoleh disajikan kedalam grafik. Ada beberapa data yang disajikan di dengan grafik dalam penelitian ini yaitu

seperti grafik produksi biogas, grafik perbandingan pH substrat dan grafik perbandingan amonium dan.

3.7 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Dibawah ini ialah jadwal kegiatan dan waktu yang dilakukan selama penelitian pembuatan biogas ini.

Tabel 3.3 Jadwal Penelitian

NO	Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1	Pembuatan proposal penelitan						
2	Seminar proposal penelitian						
3	Proses penelitian biogas						
4	Studi literatur dan analisa						
5	Pembuatan laporan ahir penelitian						
6	Seminar hasil penelitian						

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah cair tahu dan gulma kiambang menjadi biogas serta mengetahui seberapa besar potensi biogas yang dihasilkan dari substrat tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa variabel diantaranya yaitu variabel tetap seperti volume limbah cair tahu, dan volume rumen sapi serta variabel berubah yaitu masa kiambang yang ditambahkan kedalam digester. Variasi pada penelitian ini yaitu rasio C/N dan juga pH. Dalam penelitian ini dapat dilihat volume biogas yang dihasilkan perhari, volume biogas akumulatif, kadar amonium, dan gas metan yang terkandung. Untuk mengetahui seberapa banyak padatan yang terurai menjadi biogas, maka dihitung juga Volatil Solid dan Total Solid di awal dan diakhir penelitian. Penelitian ini dilakukan selama 60 hari dan setiap tiga hari sekali dilakukan pengecekan volume biogas dan pH. Untuk pengambilan sampel ammonium dilakukan di hari ke 15, 30, 45, 58. Serta pengecekan kadar metan, hidrogen, karbon monoksida, serta karbon dioksida dengan menggunakan metode GC-MS di hari terakhir. Substrat pada penelitian ini ialah Limbah cair tahu (LCT) dan Kiambang. Dimana setiap variasi memiliki rasio C/N yang berbeda-beda. Untuk membuat rasio C/N, divariasikan berdasarkan masa kiambang yang dicampurkan ke dalam limbah cair tahu dimana volume limbah cair tahu tetap. Tabel 4.1 menunjukkan nilai C/N (Rasio nilai karbon dan nitrogen) tiap sampel.

Tabel 4.1 Nilai C/N sampel

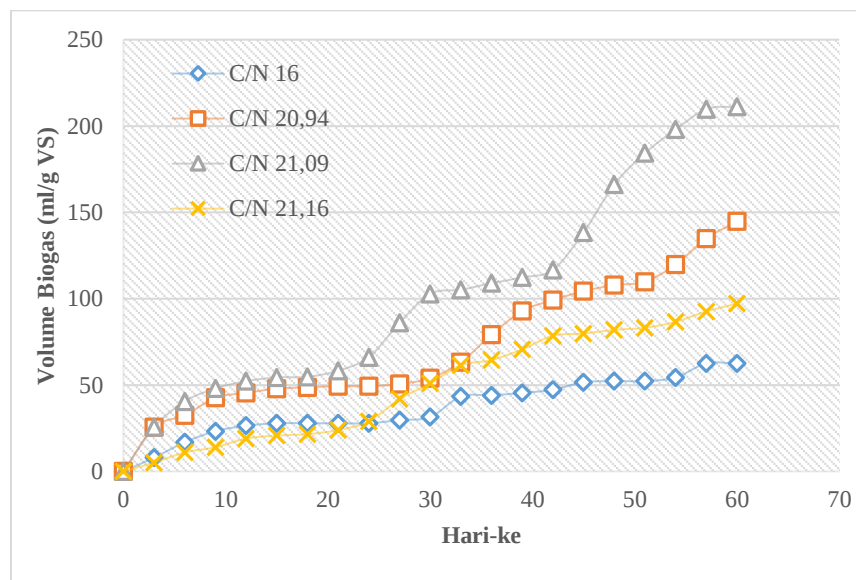
C/N	Komposisi	
	Kiambang (g)	Limbah Cair Tahu (ml)
16	0	250
20,94	3	250
21,09	5	250
21,16	7	250

4.1 Variasi C/N Pada pH 6

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai parameter-parameter penelitian pada variasi C/N di pH 6. Parameter yang diukur seperti produksi biogas, profil pH, nilai TS, ammonium, serta kadar kandungan metan.

4.1.1 Produksi Biogas

Untuk menunjukkan penambahan volume biogas dalam digester selama 60 hari, dibuat grafik biogas akumulatif yang menunjukkan pertambahan volume dari biogas setiap hari selama 60 hari.

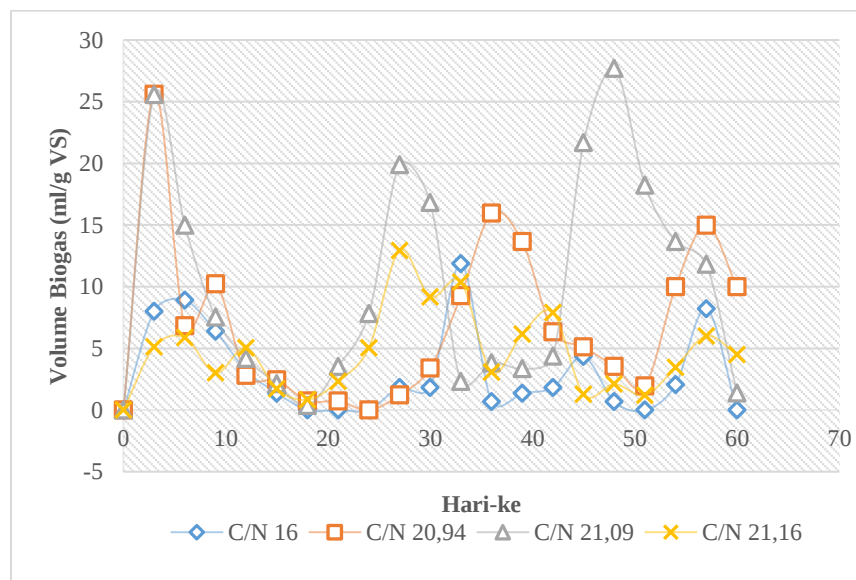


Gambar 4.1 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 6

Berdasarkan gambar 4.1, rata-rata penambahan volume biogas mulai naik secara signifikan yaitu di hari ke 27. Dan selanjutnya terjadi kenaikan volume biogas yang signifikan di hari selanjutnya. Volume biogas total atau disebut *yield* biogas terbesar pada pH 6 ini terletak pada variasi C/N 21,09 sebesar 211,20 ml/g VS, dimana sesuai dengan table 4.1, komposisi dari substrat pada variasi ini ialah 5 gram kiambang dan 250 ml limbah cair tahu. Hal ini sesuai dengan penelitian Pratama et.al^[10] dimana ratio C/N yang ideal untuk pembuatan biogas adalah 20 – 30. Pada variasi C/N 21,16, memiliki jumlah volume yang cukup sedikit yaitu 97,12

ml/g VS. Hal ini disebabkan karena rasio C/N terlalu besar. Pada variasi C/N 16, mempunyai volume biogas paling sedikit. Hal ini disebabkan karena pada variasi ini, rasio C/N terlalu kecil.

Apabila ratio C/N bahan organik tinggi, berarti kadar karbon lebih banyak dari pada kadar nitrogen, sehingga mikroorganisme akan kekurangan nitrogen untuk metabolisme yang akan mengakibatkan terhambatnya proses perkembangan dari organisme dan menyebabkan produksi biogas akan berkurang. Sebaliknya, jika ratio C/N rendah, maka unsur karbon akan habis terlebih dahulu dan unsur nitrogen akan hilang membentuk ammonia (NH_3)^[5].



Gambar 4.2 Produksi Biogas Harian Pada Variasi pH 6

Gambar 4.2 menunjukkan volume biogas didapatkan per 3 hari yang dilakukan dengan waktu fermentasi selama 60 hari. didapatkan bahwa volume biogas pertama sudah mulai terbentuk di hari ketiga dan mengalami penurunan hingga 0 ml/g VS di rentang hari ke 18 sampai 24, kemudian mengalami kenaikan lagi pada hari ke 27 dan terus berfluktuasi disertai penurunan kembali sampai hari ke 60. Pada rentang hari ke 20 sampai hari ke 60 terjadi perbedaan trend pada grafik secara signifikan dimana pada variasi C/N 21,09 menghasilkan lebih banyak biogas dari pada variasi yang lain, hal ini di karenakan pada variasi C/N 21,09 bakteri

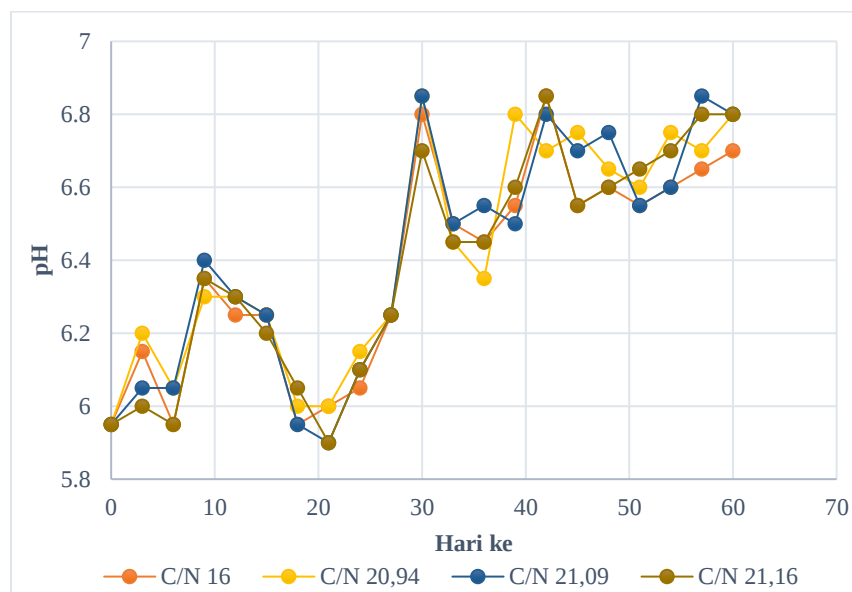
fermentasi (rumen sapi) bekerja lebih aktif dari pada variasi lain yang di sebabkan oleh beberapa factor, baik pada faktor internal (Sumber nutrisi pada slurry) dan faktor eksternal (instalasi digester)^[10].

Pada hari pertama sampai hari ke 20 percobaan, variasi C/N 21,16 dan C/N 16 pertumbuhan volume biogas masi berjalan lambat. Hal ini dikarenakan bakteri fermentasi masih berada pada *lag phase* (fase pertumbuhan lambat). Wati dan Prasetyani^[40] mengatakan dimana pada lag fase ini mikroorganisme sedang dalam proses adaptasi sehingga tidak adanya pertumbuhan populasi bakteri. Pada proses ini mikroorganisme beradaptasi dengan mengalami perubahan pada komposisi kimiawi dan perubahan bentuk jadi pemurnian zat organik menjadi biogas masih kecil.

Dapat dilihat pada gambar 4.2 pada grafik menunjukkan adanya kenaikan dan penurunan secara fluktuasi. Hal ini dipengaruhi oleh adanya aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam digester dan adanya perubahan suasana di dalam digester yang disebabkan oleh produk asam dan basa hasil perombakan material yang dilakukan oleh mikroorganisme. Suasana asam yang terjadi disebabkan oleh adanya akumulasi produk asam organik dan suasana basa berasal dari ammonia hasil perombakan protein. Naik turun laju produksi biogas ini terjadi juga pada penelitian yang telah di lakukan oleh Tanaya^[41].

4.1.2 Pengukuran pH Harian

Pada variasi C/N di pH 6 ini, dilakukan pengukuran pH di dalam digester setiap tiga hari sekali. Gambar 4.3 menunjukan grafik pengukuran pH harian pada pH 6 disetiap variasi C/N nya. Menurut Hary dan Rolastry^[6], pada hari-hari awal, pH akan menurun menjadi asam. Hal ini disebabkan karena fase acidogenesis dan asetogenesis terjadi di hari hari awal produksi biogas. Ini terbukti pada setiap variasi C/N yang semulanya pH 6 treand pH nya relatif menurun atau tidak terjadi kenaikan pH yang signifikan.



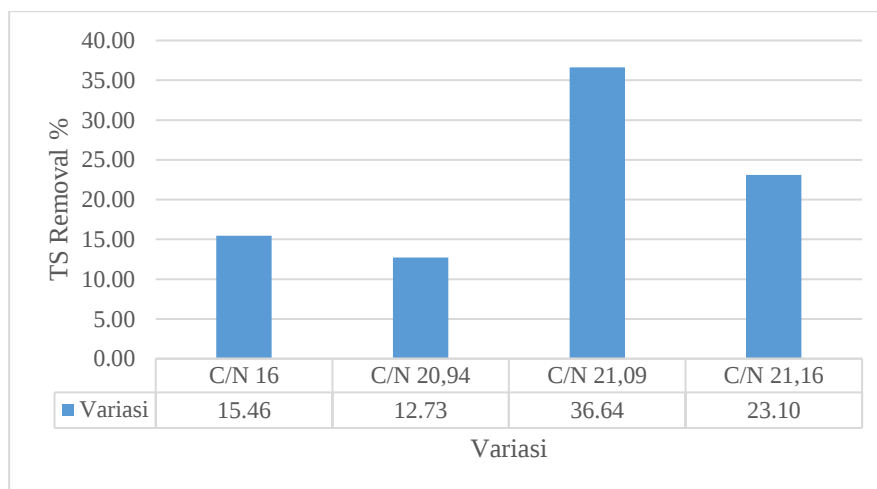
Gambar 4.3 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 6

Pada hari ke 6, semua variasi C/N pada sampel, mengalami penurunan pH ke pH 5,9. Ini menunjukkan pada variasi tersebut diproduksi asam organik (FVA's) yang banyak^[44]. Menurut Pribadi^[2], pada fase acidogenik, pH di dalam digester akan berada pada 5 – 6,5, sedangkan pada fase methanogen, pH akan berada di sekitar 6,5. Walaupun bakteri pembentuk asam dapat berkembang dengan baik pada pH kurang dari 6, tapi ini berbanding terbalik dengan bakteri methanogen yang pertumbuhannya malah menjadi terhambat^[6]. Menurut Pribadi^[2], saat fase metanogen, pH akan naik mendekati netral. Jika dilihat dari grafik maka fase ini terjadi di sekitar hari ke 30. Dimulai dari hari ke 30 ini, pH naik mendekati netral (pH 7) dan cenderung mendekati 7 walaupun berfluktuasi di hari selanjutnya. Hal ini juga ditegaskan dalam penelitian Budiyo et.al^[44] bahwa dekomposisi protein dalam digester, menghasilkan amonium yang akan membuat pH netral.

4.1.3 Total Solid Removal

Menurut Fairus et.al^[10] TS merupakan parameter penting dimana dapat menentukan karakteristik dari slurry. TS Removal adalah banyaknya total solid yang terkonversi menjadi senyawa gas (biogas). Dalam pengukuran nilai TS sendiri

menggunakan metode pengovenan, dimana mengambil 10 gram cairan dan 1 gram padatan dari setiap sampel dengan mengukur massa sebelum dan sesudah di oven.



Gambar 4.4 Total Solid Removal Pada Variasi pH 6

Dapat dilihat nilai % TS Removal pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar grafik 4.4, dimana pada variasi C/N di pH 6 ini % TS removal tertinggi ada variasi C/N 21,09 sebesar 36,64. Sedangkan nilai % TS Removal terkecil ada pada variasi C/N 20,94 sebesar 12,72. Hal ini dikarenakan pada variasi C/N 21,09 dalam digester, substrat lebih banyak tereduksi selama proses fermentasi dari pada variasi C/N 20,94, didukung penelitian yang telah dilakukan oleh Pratama et.al^[10]. Menurut Sutrisno^[8], semakin besar nilai TS Removal, maka akan semakin banyak substrat yang terurai menjadi biogas, sehingga volume biogas yang dihasilkan semakin besar. Hal ini sesuai dengan data dimana pada variasi C/N 21,09 yang memiliki nilai TS Removal besar, juga mempunyai volume biogas yang banyak dibandingkan dengan variasi C/N lainnya pada pH 6 ini.

4.1.4 Kandungan Methan

Pada akhir penelitian, sampel biogas yang telah ditampung, dianalisa kandungan gasnya menggunakan metode analisa GC-MS. Nilai kandungan beberapa senyawa dalam biogas menjadi tolak ukur apakah biogas tersebut baik

atau tidak. Menurut Bindari^[42], kandungan gas metan yang ideal pada biogas berkisar antara 60-70 % dan bahkan bisa mencapai 80 %.

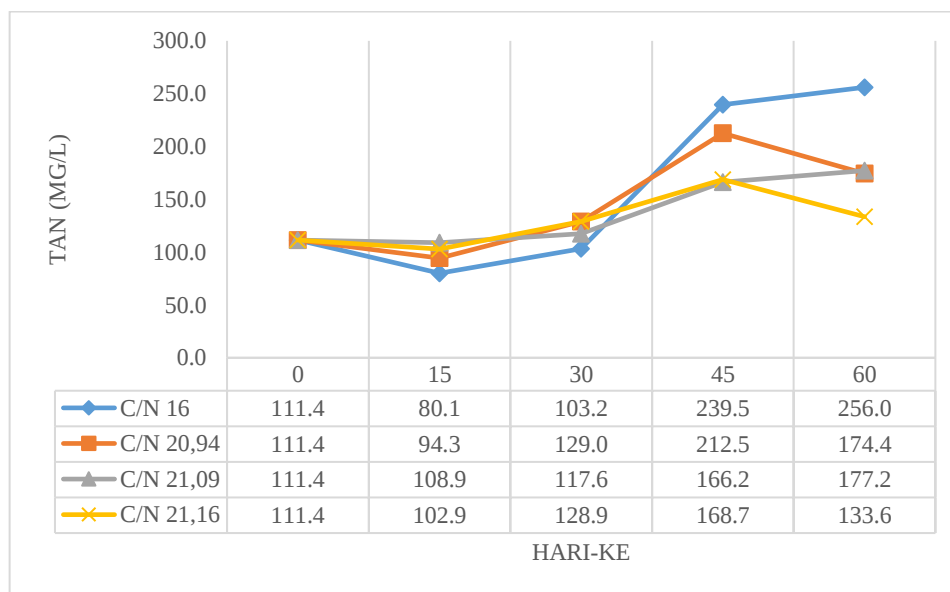
Tabel 4.2 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH6

Sampel	Konsentrasi (%)					
	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂	Udara	Impuritis
C/N 16	68,90	5,52	0,07	0,03	24,56	0,90
C/N 20,94	85,96	5,86	0,04	0,03	7,27	0,84
C/N 21,09	82,35	6,58	0,06	0,10	9,72	1,19
C/N 21,16	76,05	6,97	0,33	0,05	14,88	1,73

Dari hasil penelitian untuk % konsentrasi setiap variasi telah mencapai nilai ideal kecuali untuk variasi C/N 16 dan C/N 21,16. Menurut Saputra^[15] ketika fermentasi berlangsung maka akan terjadi perombakan unsur-unsur organik dalam substrat oleh bakteri fermentasi hingga menghasilkan akumulasi produk-produk gas berlebih yang lain seperti udara dan CO₂.

4.1.5 Amonium, Amonia dan VFAs

Untuk mengetahui kinerja mikroorganisme di dalam digester, dilakukan analisa kandungan ammonium, ammonia dan VFAs dalam digester. Kandungan ammonia dan ammonium berasal dari dekomposisi nitrogen di dalam substrat biogas. Ammonia dan ammonium digunakan oleh mikroorganisme untuk membangun struktur sel^[46]. Ammonium dan ammonia dipresentasikan dengan TAN (Total Ammonia Nitrogen). TAN didapatkan dari penjumlahan kandungan ammonium dan ammonia. Amonium didapatkan dari analisa di laboratorium sedangkan ammonia didapatkan melalui pendekatan rumus dengan persamaan 13.



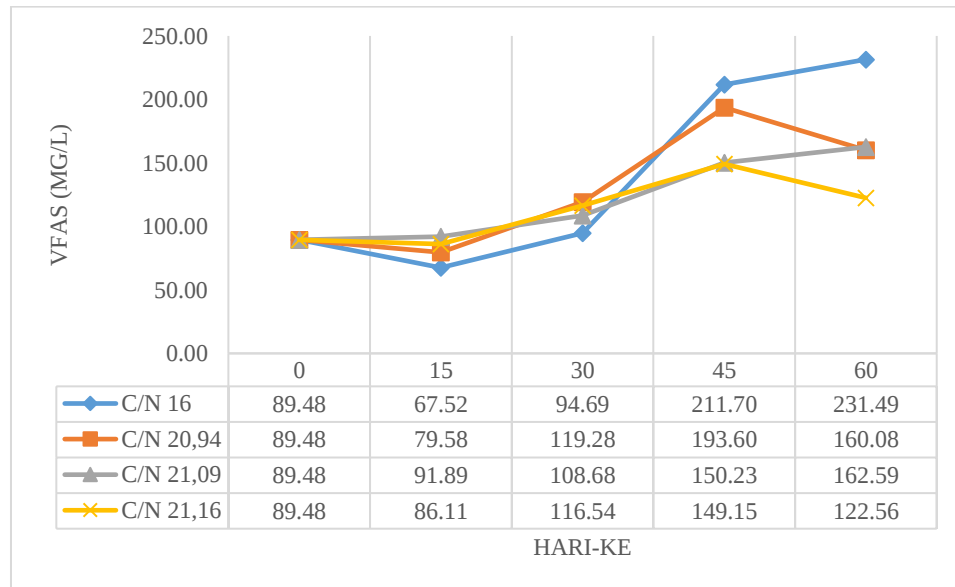
Gambar 4.5 Pengukuran TAN Pada Variasi pH 6

Pada gambar 4.5 menunjukkan kandungan TAN tiap variasi C/N pada pH 6. TAN pada kondisi awal untuk semua variasi sebesar 111,4 mg/L yang didapatkan dari hasil uji ammonium pada rumen sapi dimana pada rumen sapi ammonium sudah terbentuk secara alami ketika di proses pada usus sapi.

Semua variasi C/N masi dalam rentan optimum konsentrasi TAN kecuali pada variasi C/N 16. Hal ini disebabkan karena pada variasi C/N 16, jumlah nitrogen dalam substrat lebih banyak daripada jumlah karbonnya, sehingga terbentuk ammonium dalam biogas^[8]. Untuk semua variasi mengalami kenaikan dengan fluktuasi yang memiliki hubungan dengan kondisi pH dimana menurut Fairus et.al^[43], nilai pH yang tinggi akan menyebabkan produksi ammonium yang cukup banyak. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Syaichurrozi^[46] dimana komposisi kandungan ammonium maupun ammonia dipengaruhi oleh ph substrat dalam biogas. Nilai TAN yang paling tinggi terdapat pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 256,0 mg/L. Menurut Syaichurrozi^[46], semakin banyak kandungan nitrogen didalam substrat (C/N Kecil) maka TAN yang dihasilkan semakin banyak.

Pada variasi pH 6 ini, amonium dan ammonia masi dalam rentang yang baik, yaitu diantara 50 – 200 mg/L kecuali pada C/N 16. Dimana menurut Rajagopal et.al^[47], konsentrasi TAN pada rentang 50-200 mg/L berguna untuk pertumbuhan

mikroorganisme, sedangkan jika konsentrasi TAN berada di rentang 200-1000 mg/L, masi dapat diterima oleh mikroorganisme, namun ketika TAN ada pada rentang 1500-10000 mg/L maka akan bersifat racun bagi mikroorganisme didalam digester.



Gambar 4.6 Kandungan VFAs Pada Variasi pH 6

Gambar 4.6 menunjukkan kandungan VFAs (*Volatile fatty acid*) didalam sampel. VFAs dihasilkan dari dekomposisi karbon didalam substrat. Kandungan VFAs terbesar ada pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 231,49 mg/L. Menurut Syaichurrozi^[46], semakin besar kandungan amonium dan ammonia, maka kandungan VFAs akan semakin besar.

Dilihat pada gambar 4.6 diatas menunjukkan perkembangan kandungan VFAs pada pH 6 dari hari ke 0, 15, 30, 45 dan 60. Semua variasi C/N mengalami penurunan disertai kenaikan setelahnya dan turun kembali pada hari ke 60. Proses turunnya kandungan VFAs sampai hari ke-15 pada variasi pH 6 disebabkan oleh fase *acidogenesis* yang sudah selesai. Dimana kenaikan VFAs yang dihasilkan pada tahap *acidogenesis* terjadi sebelum di hari ke 15. Pada grafik pH harian di gambar 4.3, terlihat penurunan pH yang berada pada rentang 5-6 sebelum hari ke 15.

Pada hari ke 15 sampai 45, terjadi kenaikan VFAs dimana menurut Xu et.al^[50], VFAs juga mengandung asam asetat. Asam asetat diproduksi pada tahap *asetogengesis*^[15]. Kenaikan VFAs ini diiringi dengan kenaikan volume biogas yang ditampilkan pada gambar 4.1. Menurut Pradhan dan Gireesh^[17], asam propionat, alkohol, serta karbohidrat yang dihasilkan dari proses hidrolisis dan asidogenesis dirombak menjadi asam asetat, hydrogen dan CO₂ oleh bakteri asetogenik pada tahap asetogenesis. Asam asetat ini diperlukan bagi bakteri metanogen agar bisa dirombak menjadi metan. Pada hari ke 45 sampai 60, terjadi penurunan VFAs, hal ini dikarenakan pada tahap ini bakteri metanogen telah merobak VFAs menjadi metan secara maksimal. Penyebab lainnya dikarenakan setelah hari ke 45 bakteri acidogenesis mulai berkurang kinerjanya yang disebabkan kenaikan pH, dimana menurut Pratama et.al^[10], pada bakteri acidogenesis dapat bekerja secara optimal pada range pH rendah serta ammonia dan amonium yang diproduksi sehingga membuat pH mendekati netral^[44].

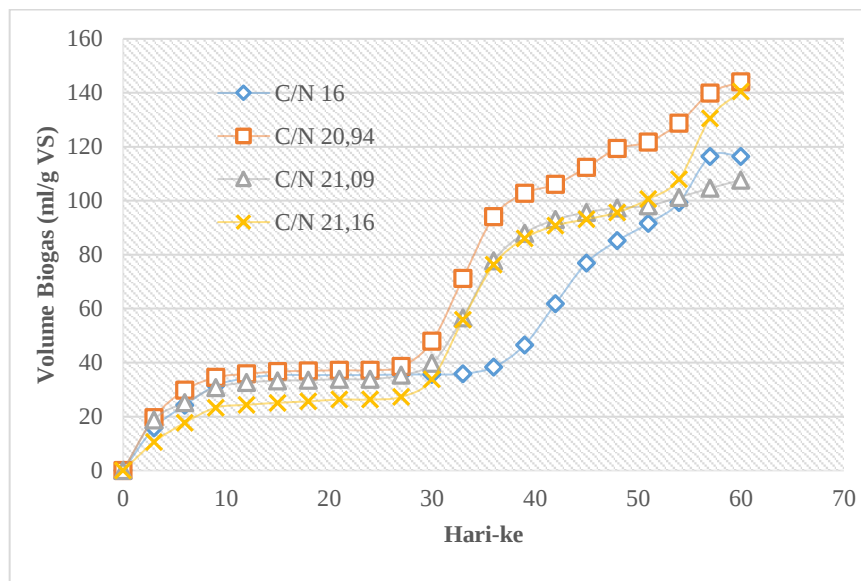
Akumulasi VFAs yang banyak, dapat menurunkan pH secara signifikan, pH yang kecil dapat membuat bakteri metanogen tidak bekerja dengan baik ataupun mati^[46]. Pada penelitian ini, pH akhir mendekati netral dan tidak terjadi penurunan pH secara signifikan. Dalam arti lain, bahwa konsentrasi dari kandungan VFAs dalam penelitian ini masih bisa diterima oleh bakteri metanogen.

4.2 Variasi C/N Pada pH 7

Pada bagian ini parameter yang diukur pada variasi C/N di pH 7 seperti produksi biogas, profil pH, nilai % TS dan ammonium, serta kadar kandungan metan.

4.2.1. Produksi Biogas

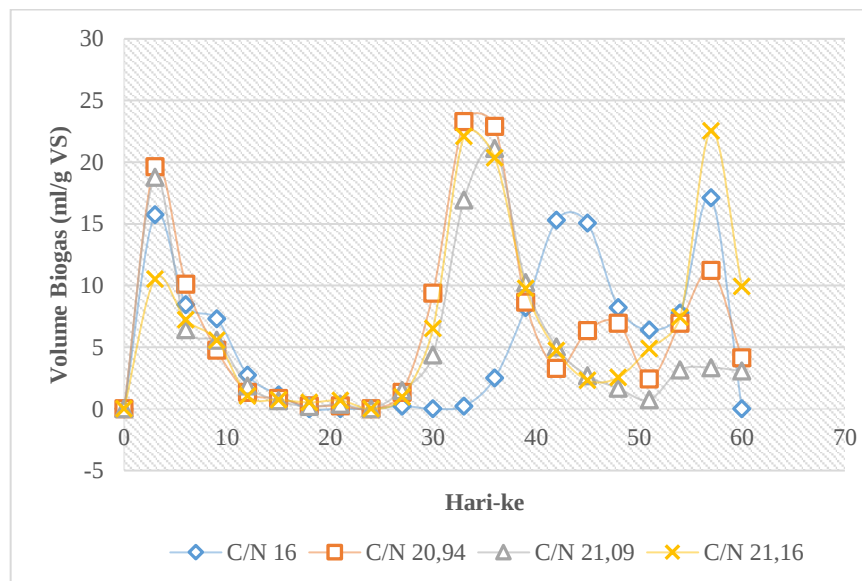
Produksi biogas menunjukkan penambahan volume biogas dalam digester selama 60 hari, dibuat grafik biogas akumulatif yang menunjukkan pertambahan volume dari biogas setiap 3 hari selama 60 hari.



Gambar 4.7 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 7

Dapat dilihat pada gambar 4.7, volume biogas pada setiap variasi C/N sudah mulai ada penambahan sejak pada hari pertama (*lag pHase*) dan penambahan volume tetap sampai hari ke 27 (*stationary pHase*) selanjutnya terus mengalami kenaikan secara signifikan hingga hari ke 60. Volume biogas total atau disebut *yield* biogas terbesar pada variasi PH 7 ini terletak pada variasi C/N 20,94 sebesar 144,084 ml/g VS, komposisi dari substrat pada variasi ini ialah 3 gram kiambang dan 250 ml limbah cair tahu.

Pada hari ke-27 sampai dengan hari ke-60 untuk variasi pH 7 mengalami kenaikan kembali dan rata-rata mengalami kenaikan volume biogas yang besar. Hal ini dikarenakan mikroorganisme sedang berada pada fase eksponensial. Wati dan Prasetyani^[40] mengemukakan bahwa dimana pada fase eksponensial ini mikroorganisme berada pada fase pertumbuhan yang seimbang (aktivitas metabolik konstan), sehingga mikroorganisme dapat berkonsentrasi menguraikan zat organik dibandingkan dengan pertumbuhan mikroorganisme.



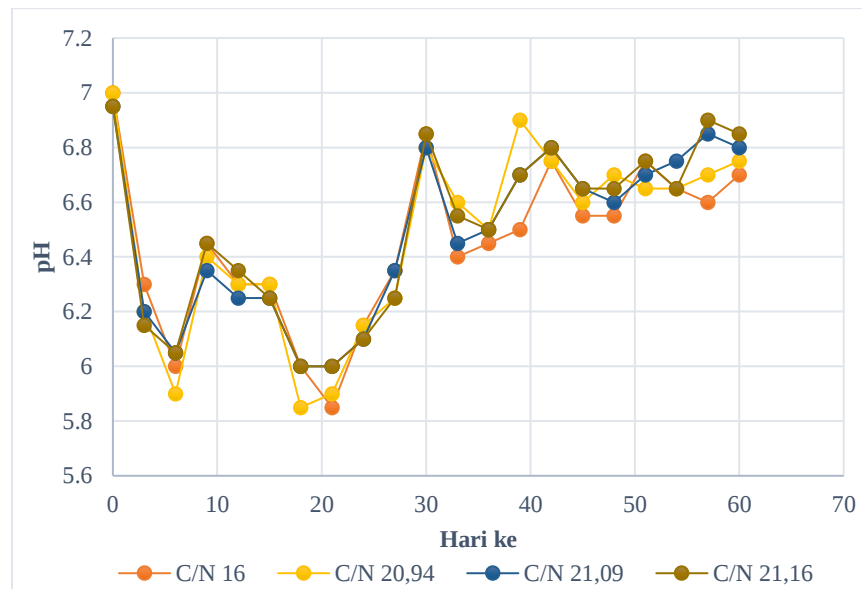
Gambar 4.8 Volume Biogas Harian Pada Variasi pH 7

Gambar 4.8 Menunjukkan volume biogas harian pada variasi pH 7 didapatkan per 3 hari yang dilakukan dengan waktu fermentasi selama 60 hari. didapatkan bahwa volume biogas pertama sudah mulai terbentuk di hari ketiga dan mengalami penurunan hingga 0 ml/g VS di rentang hari ke 18 sampai 24, kemudian mengalami kenaikan lagi pada hari ke 27 dan terus berfluktuasi disertai penurunan kembali sampai hari ke 60. Pada variasi C/N 20,94 di pH 7 menghasilkan lebih banyak biogas dari pada variasi yang lain, hal ini di karenakan pada variasi C/N 20,94 di pH 7 bakteri fermentasi (rumen sapi) bekerja lebih aktif dari pada variasi lain yang di sebabkan oleh beberapa factor menurut Pratama et.al^[10], baik pada faktor internal (Sumber nutrisi pada slurry) dan faktor eksternal (instalasi digester). Serta masih dalam rentang optimum pembuatan biogas, seperti yang disebutkan pada penelitian Pratama et.al^[10], dimana rasio C/N yang optimal ada pada rentang 20-30.

4.2.2. Pengukuran pH Harian pada pH 7

Pada variasi C/N di pH 7 di hari ke-0 sampai hari ke-5 mengalami penurunan sampai pada pH 6, penurunan pH ini disebabkan oleh asam-asam organik yang diproduksi pada tahap *acidogenesis*. Asam organik tersebut yang membuat suasana

di dalam digester turun hingga berada pada pH 6 seperti di tunjukkan dalam gambar 4.9 di bawah.



Gambar 4.9 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 7

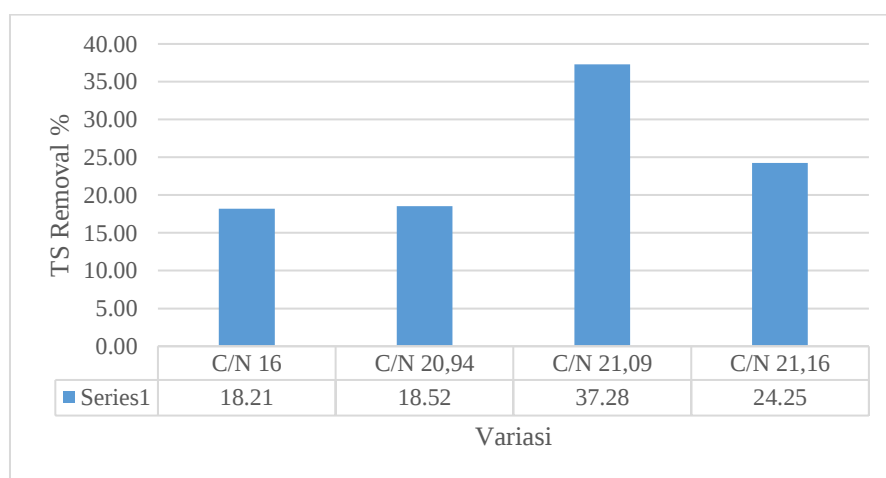
Pada variasi C/N 16, C/N 20,94 dan C/N 21,16, di hari ke 18 dan 21 turun menjadi sekitar pH 5,9. Ini menunjukkan pada variasi tersebut memproduksi asam organik (FVA's) yang banyak, seperti yang telah dikemukakan oleh Pribadi^[2]. Menurut Pribadi^[2], pada fase acidogenik, pH di dalam digester akan berada pada 5 – 6,5 pada waktu minggu pertama fermentasi.

Dapat dilihat pada gambar 4.9 grafik pengukuran pH harian pada pH 7 dari hari ke-21 sampai hari ke- 60 mengalami kenaikan secara fluktuasi hingga mendekati pH 7. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Pribadi^[2], Menurut Pribadi^[2], saat fase metanogen, pH akan naik mendekati netral. Hal ini juga ditegaskan dalam penelitian Budiyono et.al^[44] bahwa dekomposisi protein dalam digester, menghasilkan amonium yang akan membuat pH mendekati netral.

Jika dilihat dari grafik maka fase ini terjadi di sekitar hari ke 30. Dimulai dari hari ke 30 ini, pH naik mendekati netral (pH 7) dan cenderung sama di hari selanjutnya.

4.2.3. Total Solid Removal

Pada gambar 4.10 dibawah memperlihatkan degradasi padatan total pada pembuatan biogas dari substrat kiambang dengan limbah cair tahu (LCT) dengan akumulasi volume tertinggi ada pada variasi C/N 21,09. Total solid adalah jumlah padatan total yang terkandung dalam substrat hasil perombakan yang dilakukan oleh mikroorganisme. Persentase TS cenderung turun akibat perombakan material-material dalam bahan secara terus menerus yang dilakukan oleh mikroorganisme.



Gambar 4.10 Total Solid Removal Pada Variasi pH 7

Pada gambar 4.10 di atas dapat dilihat nilai % TS Removal pada variasi pH 7, dimana pada variasi C/N di pH 7 ini % TS removal tertinggi ada variasi C/N 21,09 sebesar 37,52 % TS. Sedangkan nilai % TS Removal terkecil ada pada variasi C/N 16 sebesar 18,20 % TS. Hal ini dikarenakan pada variasi C/N 21,09 dalam digester, substrat lebih banyak tereduksi selama proses fermentasi dari pada variasi C/N 20,94, didukung penelitian yang telah dilakukan oleh Pratama et.al^[10]. Dimana pada variasi C/N 21,09 memiliki % TS removal yang paling besar di variasi pH 7 tetapi volume biogas yang di hasilkan tidak banyak. Menurut Sutrisno^[8], semakin besar nilai TS Removal, maka akan semakin banyak substrat yang terurai menjadi biogas, sehingga volume biogas yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan pada variasi C/N 21,09 bakteri fermentasi (rumen sapi) tidak bekerja secara efektif. Menurut Pratama et al^[10] keaktifan bakteri fermentasi dalam pembentukan biogas

dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti faktor internal (Sumber nutrisi pada slurry) dan faktor eksternal (instalasi digester).

Sedangkan untuk nilai % TS Removal terkecil pada variasi C/N 16 yang didapatkan sebesar 18,20 % TS. Hal ini dikarenakan semakin sedikit nilai % TS yang di dapatkan maka semakin sedikit total padatan di dalam substrat yang dapat terkonversi menjadi biogas.

4.2.4. Kandungan Methan

Pada tabel 4.3 dapat dilihat hasil penelitian untuk % konsentrasi pada variasi pH 7 telah mencapai nilai ideal kecuali untuk variasi C/N 16 dan C/N 21,09

Tabel 4.3 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH 7

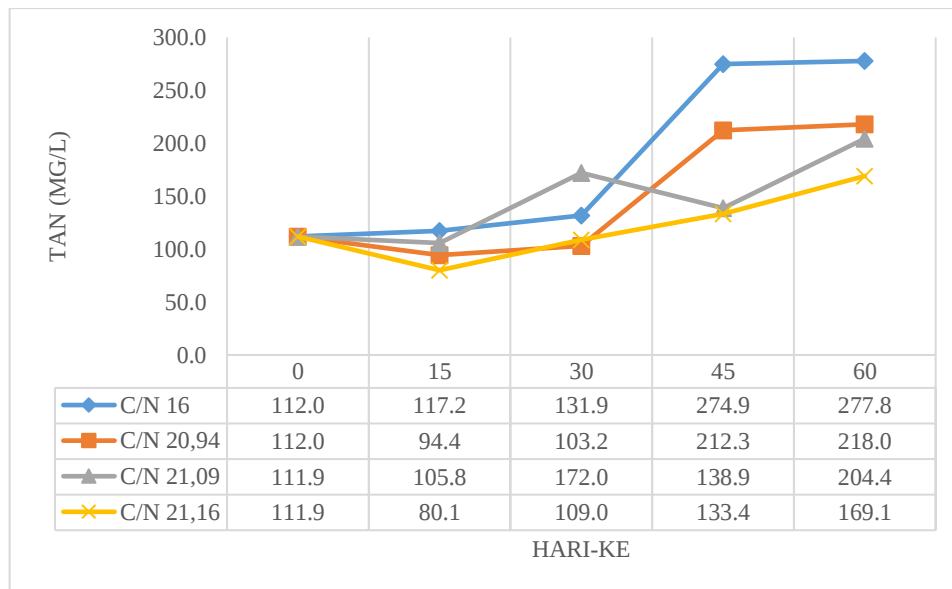
Sampel	Konsentrasi (%)					
	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂	Udara	Impuritis
C/N 16	34,53	10,07	0,05	0,39	53,56	1,40
C/N 20,94	88,49	4,90	0,12	0,07	5,05	1,37
C/N 21,09	74,52	6,17	0,07	0,04	18,59	0,61
C/N 21,16	86,43	6,27	0,03	0,17	5,54	1,56

Menurut Saputra^[15] ketika fermentasi berlangsung maka akan terjadi perombakan unsur-unsur organik dalam substrat oleh bakteri fermentasi hingga menghasilkan akumulasi produk-produk gas berlebih yang lain seperti udara dan CO₂. Untuk variasi C/N 20,94 dan 21,16 telah mencapai nilai konsentrasi methane yang ideal dengan konsentrasi metan (%) sebesar 88,49 dan 86,43.

4.2.5. Ammonium, Ammonia dan VFAs

Untuk mengetahui kinerja mikroorganisme di dalam digester, dilakukan analisa kandungan ammonium, ammonia dan VFAs dalam digester. Kandungan ammonia dan ammonium berasal dari dekomposisi nitrogen di dalam substrat biogas. Ammonia dan ammonium digunakan oleh mikroorganisme untuk membangun struktur sel^[46]. Ammonium dan ammonia dipresentasikan dengan TAN (Total Ammonia Nitrogen). TAN didapatkan dari penjumlahan kandungan

ammonium dan ammonia. Amonium didapatkan dari analisa di laboratorium sedangkan ammonia didapatkan melalui pendekatan rumus dengan persamaan 13.

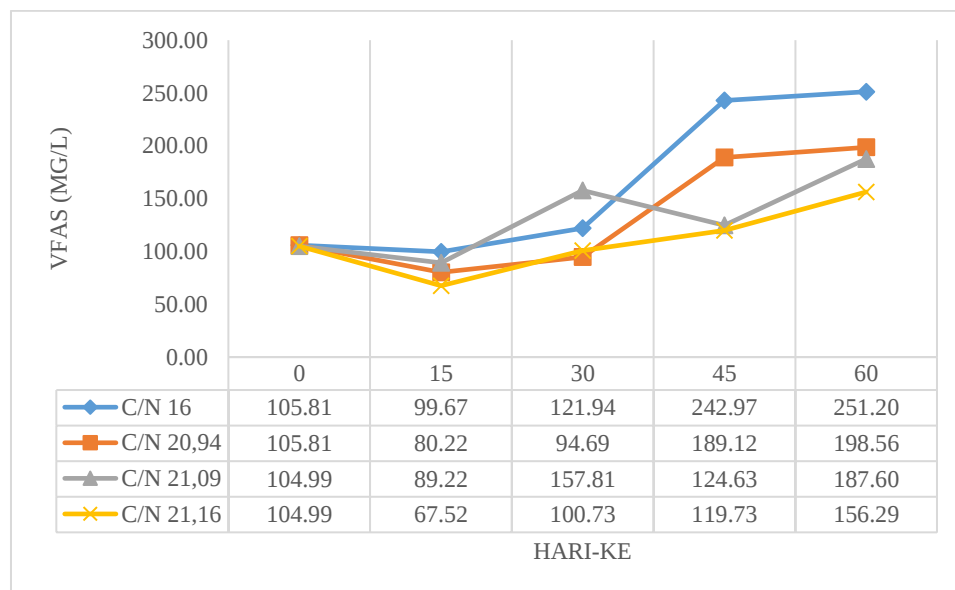


Gambar 4.11 Kandungan TAN Pada Variasi pH 7

Pada gambar 4.11 menunjukkan kandungan TAN tiap variasi C/N pada PH 7. TAN pada kondisi awal untuk semua variasi sebesar 111,2 – 111,9 mg/L yang didapatkan dari hasil uji ammonium pada rumen sapi dimana pada rumen sapi ammonium sudah terbentuk secara alami ketika di proses pada usus sapi.

Semua variasi C/N masi dalam rentan optimum konsentrasi TAN kecuali pada variasi C/N 16. Hal ini disebabkan karena pada variasi C/N 16, jumlah nitrogen dalam substrat lebih banyak daripada jumlah karbonnya, sehingga terbentuk ammonium dalam biogas^[8]. Untuk semua variasi mengalami kenaikan dengan fluktuasi yang memiliki hubungan dengan kondisi pH dimana menurut Fairus et.al^[43], nilai pH yang tinggi akan menyebabkan produksi ammonium yang cukup banyak. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Syaichurrozi^[46] dimana komposisi kandungan ammonium maupun ammonia dipengaruhi oleh ph substrat dalam biogas. Nilai TAN yang paling tinggi terdapat pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 277,8 mg/L. Hal ini sesuai dengan Syaichurrozi^[46], semakin banyak kandungan nitrogen didalam substrat (C/N Kecil) maka TAN yang dihasilkan semakin banyak.

Menurut Rajagopal et.al^[47], konsentrasi TAN pada rentang 50-200 mg/L berguna untuk pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan jika konsentrasi TAN berada di rentang 200-1000 mg/L, masi dapat diterima oleh mikroorganisme, namun ketika TAN ada pada rentang 1500-10000 mg/L maka akan bersifat racun bagi mikroorganisme didalam digester.



Gambar 4.12 Kandungan VFAs Pada Variasi pH 7

Pada gambar 4.12 menunjukan kandungan VFAs (*Volatile fatty acid*) didalam sampel. VFAs dihasilkan dari dekomposisi karbon didalam substrat. Kandungan VFAs terbesar ada pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 251,2 mg/L. Untuk kandungan VFAs yang ada pada semua variasi C/N di pH 7 mengalami penurunan sampai hari ke 15 dan mengalami kenaikan kembali sampai hari ke 60.

Pada variasi ini, proses perombakan material organik dari substrat menjadi VFAs pada tahap *acidogenesis* telah terjadi sebelum pengambilan sampel VFAs di hari ke 15. Hal ini ditunjukan dengan penurunan pH di hari ke 6 pembentukan biogas mendekati ph 5 - 6 (gambar 4.9). Pada hari ke 15 sampai hari ke 60, terjadi kenaikan VFAs dimana menurut Xu et.al^[50], VFAs juga mengandung asam asetat. Asam asetat ini diproduksi dari perombakan asam propionat, alkohol dan karbohidrat pada fase asetogenesis^[17]. Kenaikan VFAs yang sebagian besar adalah

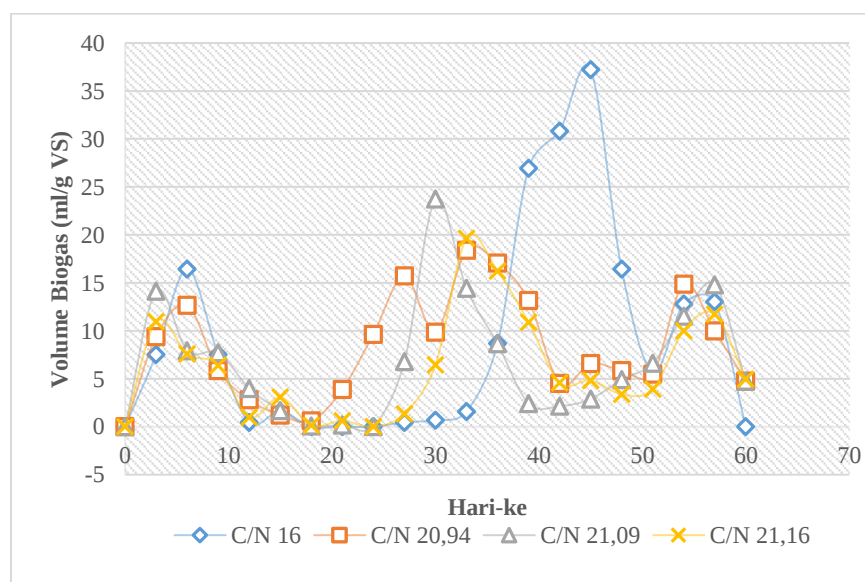
asam asetat ini diiringin dengan kenaikan volume biogas pada gambar 4.7. Pada tahap metanogenesis, asam asetat dirombak menjadi metan oleh bakteri metanogen^[17]. Akumulasi VFAs yang banyak, dapat menurunkan pH secara signifikan, pH yang kecil dapat membuat bakteri metanogen tidak bekerja dengan baik ataupun mati^[46]. Pada penelitian ini, pH akhir mendekati netral dan tidak terjadi penurunan pH secara signifikan. Dalam arti lain, bahwa konsentrasi dari kandungan VFAs dalam penelitian ini masih bisa diterima oleh bakteri metanogen.

4.3 Variasi C/N pada PH 8

Selanjutnya ialah pembahasan tentang produksi biogas, profil pH, nilai TS, ammonium, serta kadar kandungan metan dalam tiap variasi C/N pada pH 8.

4.3.1 Produksi Biogas

Dalam penelitian ini, produksi biogas digambarkan dengan dua model, yaitu produksi biogas harian dan akumulatif.

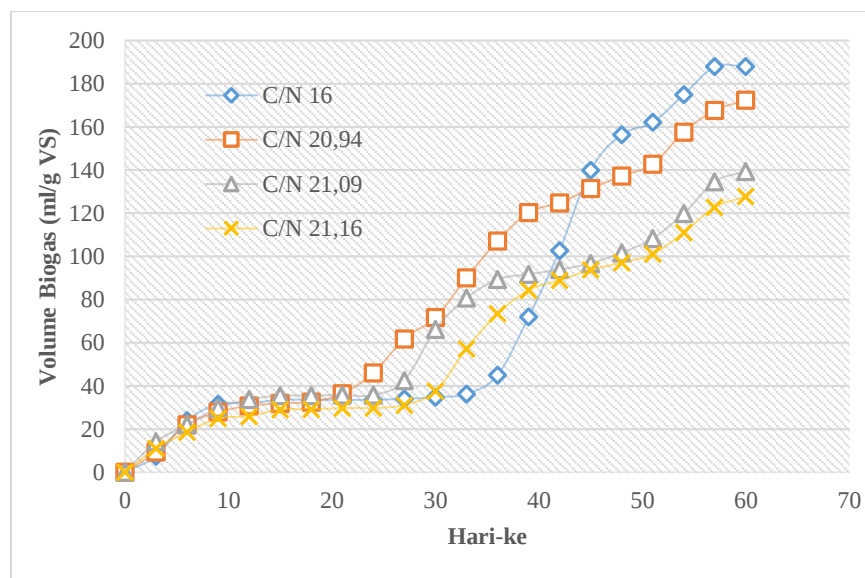


Gambar 4.13 Produksi Biogas Harian Pada Variasi pH 8

Gambar 4.13 ialah grafik yang menggambarkan laju produksi biogas harian. Data didapatkan dari pengukuran volume biogas setiap tiga hari sekali selama 60

hari. Dapat dilihat pada gambar 4.13 pada grafik menunjukkan adanya kenaikan dan penurunan secara fluktuasi. Hal ini dipengaruhi oleh adanya aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam digester dan adanya perubahan suasana di dalam digester yang disebabkan oleh produk asam dan basa hasil perombakan material yang dilakukan oleh mikroorganisme. Suasana asam yang terjadi disebabkan oleh adanya akumulasi produk asam asetat dan suasana basa berasal dari amoniak hasil perombakan protein. Naik turun laju produksi biogas ini terjadi juga pada penelitian yang telah di lakukan oleh Tanaya^[41].

Pada awal produksi, biogas volume biogas naik lalu turun di sekitar hari ke 12 pada semua variasi. Hal ini disebabkan karena suasana PH didalam digester turun serta adaptasi mikroorganisme di dalam digester, serta bakteri fermentasi masih berada dalam fase *lag phase*.^{[40][41]} Pada hari ke 45, variasi C/N 16 mengalami kenaikan treand yang sangat signifikan. Hal ini disebabkan karena pada variasi tersebut, mikroorganisme bekerja lebih aktif dari pada variasi lain yang di sebabkan oleh beberapa factor, baik pada faktor internal (Sumber nutrisi pada slurry) dan faktor eksternal (instalasi digester)^[10].

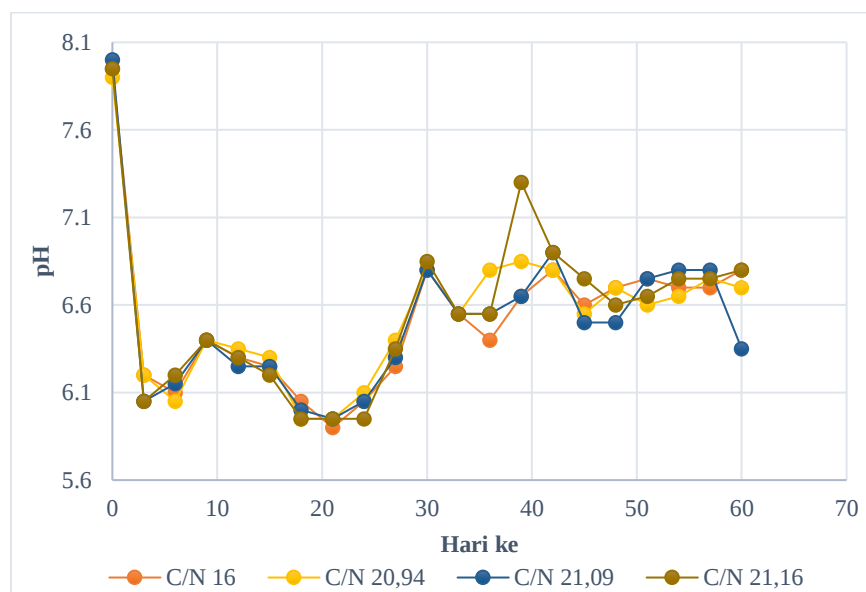


Gambar 4.14 Produksi Biogas Akumulatif Pada Variasi pH 8

Gambar 4.14 ialah grafik yang menggambarkan volume biogas akumulatif selama 60 hari percobaan. Volume akumulatif terbesar terdapat pada variasi C/N 16 sebesar 187,9 ml/g VS diikuti variasi C/N 20,94 sebesar 172,3 ml/g VS. Meskipun tidak berada dalam range C/N optimum, tapi variasi C/N 16 mempunyai volume biogas akumulatif yang besar. Hal ini disebabkan, karena yang dihasilkan didalam digester pada variasi C/N 16 sebagian besar adalah udara. Ini dijelaskan pada table 8. Hal ini yang menyebabkan variasi C/N mempunyai volume biogas yang besar diantara variasi C/N yang lain pada pH 8.

4.3.2 Pengukuran pH harian

Pada bagian ini, suasana pH didalam digester diukur setiap tiga hari sekali selama masa fermentasi yaitu 60 hari.

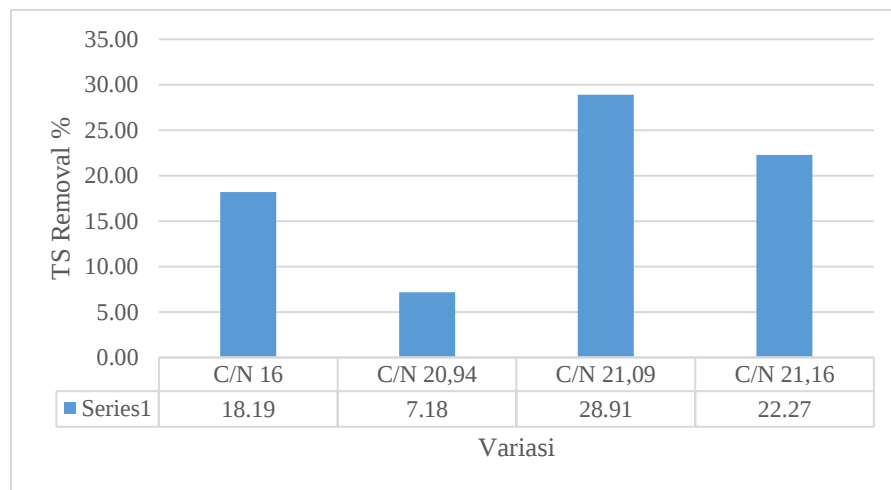


Gambar 4.15 Pengukuran pH Harian Pada Variasi pH 8

Pada gambar 4.15, semua variasi C/N mengalami penurunan pH di hari ke tiga. Ini disebabkan karena adanya fase *acidogenesis* dan asetogenesis terjadi di hari hari awal produksi biogas^[6]. Menurut Pribadi^[2], saat fase metanogen, pH akan naik mendekati netral. Jika dilihat dari grafik maka fase ini terjadi di sekitar hari ke 33. Dimulai dari hari ke 33 ini, pH naik mendekati netral (pH 7) dan cenderung mendekati 7 walaupun berfluktuasi di hari selanjutnya.

4.3.3 Total Solid Removal

TS Removal adalah banyaknya total solid yang terkonversi menjadi senyawa gas (biogas)^[10]. Gambar 4.16 menunjukkan data TS Removal pada variasi C/N pH 8 ini.



Gambar 4.16 Total solid removal pada variasi pH 8

Menurut Sutrisno^[8], semakin besar nilai TS Removal, maka akan semakin banyak substrat yang terurai menjadi biogas, sehingga volume biogas yang dihasilkan semakin besar. Jika dilihat dari grafik, pada variasi C/N 21,09, memiliki nilai TS removal terbesar yaitu 28,9 % diikuti variasi C/N 21,16 sebesar 22,2%. Hal ini tidak sesuai dengan teori dimana semakin besar nilai TS Removal, maka akan semakin banyak biogas yang terbentuk^[10]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi perombakan total solid, yaitu diantaranya seperti biogas yang bocor di dalam digester, ataupun perombakan material substrat di dalam digester yang tidak menjadi metan.

4.3.4 Kandungan Biogas

Nilai kandungan beberapa senyawa dalam biogas menjadi tolak ukur apakah biogas tersebut baik atau tidak. Menurut Bindari^[42], kandungan gas metan yang ideal pada biogas berkisar antara 60-70 % dan bahkan bisa mencapai 80 %.

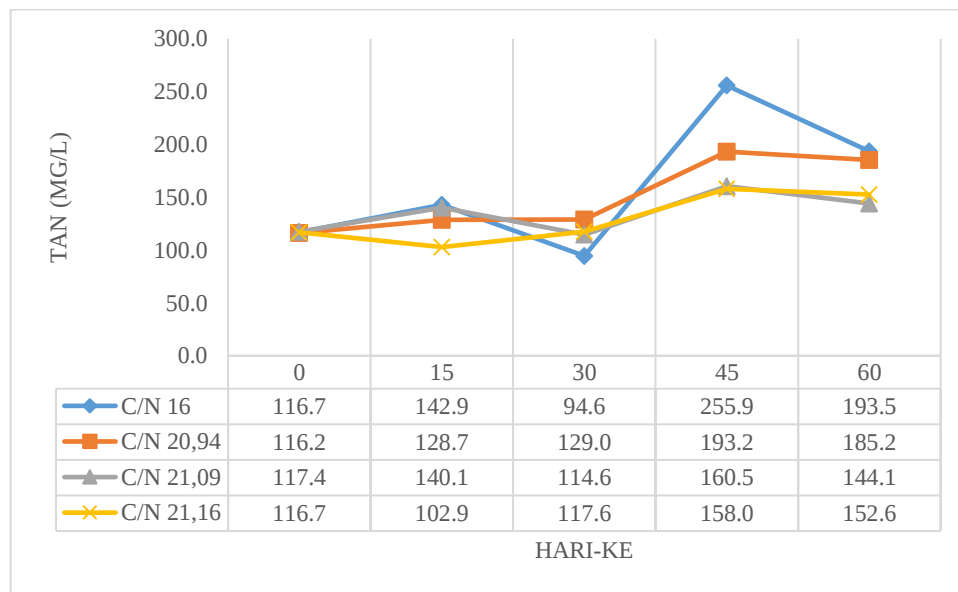
Tabel 4.4 Hasil analisa GC-MS Biogas pada variasi pH 8

Sampel	Konsentrasi (%)					
	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂	Udara	Impuritis
C/N 16	14,67	11,30	0,10	0,14	71,29	2,49
C/N 20,94	88,22	4,83	0,00	0,08	6,49	0,38
C/N 21,09	86,97	4,47	0,04	0,06	7,36	1,10
C/N 21,16	80,71	5,94	0,03	0,06	12,39	0,88

Pada semua variasi, mengandung metan diatas 80% kecuali pada C/N 16 yang hanya menghasilkan kandungan metan 14,67%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti rasio C/N yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan mempunyai kandungan udara yang besar dan kandungan metan yang kecil.

4.3.5 Kandungan Amonium, Ammonia dan VFAs

Untuk mengetahui kinerja mikroorganisme di dalam digester, dilakukan analisa kandungan ammonium, ammonia dan VFAs dalam digester. Kandungan ammonia dan ammonium berasal dari dekomposisi nitrogen di dalam substrat biogas. Ammonia dan ammonium digunakan oleh mikroorganisme untuk membangun struktur sel^[46]. Ammonium dan ammonia dipresentasikan dengan TAN (Total Ammonia Nitrogen). TAN didapatkan dari penjumlahan kandungan ammonium dan ammonia. Amonium didapatkan dari analisa di laboratorium sedangkan ammonia didapatkan melalui pendekatan rumus dengan persamaan 13.



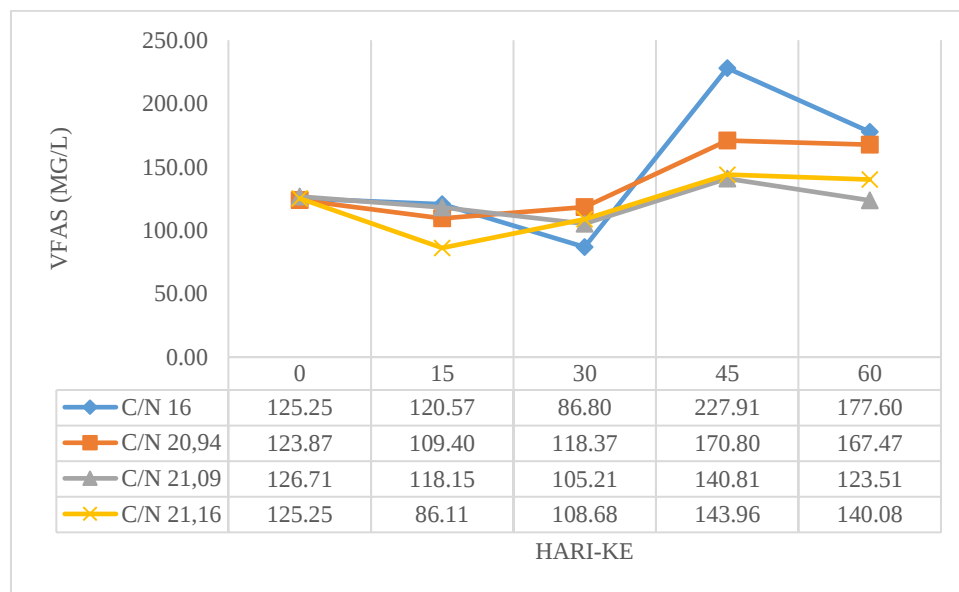
Gambar 4.17 Kandungan amonium pada variasi pH 8

Pada gambar 4.17 menunjukkan kandungan TAN tiap variasi C/N pada pH 6. TAN pada kondisi awal untuk semua variasi sebesar 116,2 – 117,4 mg/L yang didapatkan dari hasil uji ammonium pada rumen sapi dimana pada rumen sapi ammonium sudah terbentuk secara alami ketika di proses pada usus sapi.

Semua variasi C/N masi dalam rentan optimum konsentrasi TAN dan masi dalam batas aman untuk bakteri metanogen. Untuk semua variasi mengalami kenaikan dengan fluktuasi yang memiliki hubungan dengan kondisi pH dimana menurut Fairus et.al^[43], nilai pH yang tinggi akan menyebabkan produksi ammonium yang cukup banyak. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Syaichurrozi^[46] dimana komposisi kandungan ammonium maupun ammonia dipengaruhi oleh ph substrat dalam biogas. Nilai TAN yang paling tinggi terdapat pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 193,5 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada variasi C/N 16, jumlah nitrogen dalam substrat lebih banyak daripada jumlah karbonnya, sehingga terbentuk ammonium dalam biogas^[8]. Menurut Syaichurrozi^[46], semakin banyak kandungan nitrogen didalam substrat (C/N Kecil) maka TAN yang dihasilkan semakin banyak.

Menurut Rajagopal et.al^[47], konsentrasi TAN pada rentang 50-200 mg/L berguna untuk pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan jika konsentrasi TAN

berada di rentang 200-1000 mg/L, masi dapat diterima oleh mikroorganisme, namun ketika TAN ada pada rentang 1500-10000 mg/L maka akan bersifat racun bagi mikroorganisme didalam digester. Untuk semua variasi terkait kandungan TAN yang dapat di terima menunjang penelitian yang telah dilakukan oleh Rajagopal^[47].



Gambar 4.18 Kandungan VFAs pada variasi pH 8

Gambar 4.18 menunjukkan kandungan VFAs (Volatile fatty acid) didalam sampel. VFAs dihasilkan dari dekomposisi karbon didalam substrat. Kandungan VFAs terbesar ada pada variasi C/N 16 yaitu sebesar 177,6 mg/L. Pada gambar 4.18 di atas menunjukkan kandungan VFAs pada setiap variasi C/N. Penurunan VFAs yang terjadi sampai hari ke 15 adalah efek dari terjadinya prose acidogenesis yang cepat yaitu sebelum pengambilan sampel di hari ke 15. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.15 dimana pH sampel pada hari ke 3 mengalami penurunan yang signifikan dari pH 8 menjadi pH 6. Ini menandakan bahwa proses *acidogenesis* telah berlangsung di hari tersebut. Kenaikan VFAs di hari ke 15 sampai 45 didominasi oleh asam asetat yang diproduksi pada tahap *asetogenesis*^[50]. Hal ini ditandai dengan naiknya volume biogas pada gambar 4.14. Pada tahapan metanogenesis, asam asetat dirombak menjadi metan oleh bakteri metanogen. Hal

ini yang menyebabkan volume biogas naik secara signifikan diiringi oleh kenaikan VFAs.

Menurut Syaichurrozi^[46], semakin besar kandungan amonium dan ammonia, maka kandungan VFAs akan semakin besar. Kenaikan VFAs tidak diiringi dengan turunnya pH secara signifikan, hal ini terlihat pada gambar 4.15 yang artinya konsentrasi VFAs dalam variasi ini masih dalam rentang yang aman bagi bakteri metanogen. Hal ini juga berkaitan dengan grafik produksi biogas pada gambar 4.14 dimana di hari ke 30 sampai 60 terjadi kenaikan volume biogas yang signifikan.

4.4 Permodelan Biogas

Pada penelitian ini, biogas yang didapatkan dimodelkan dengan permodelan persamaan Modified Gompertz. Laju produksi biogas diasumsikan sama dengan laju pertumbuhan bakteri di dalam digester. Menurut Budiyono et.al^[44] dan Syaichurrozi et.al^[5], laju produksi dapat dimodelkan melalui beberapa permodelan antara lain First Order Kinetic dan Modified Gompertz. Menurut Kafle et.al^[45], Modified Gompertz mempunyai nilai error yang kecil dan dapat digunakan sebagai permodelan laju pembentukan biogas.

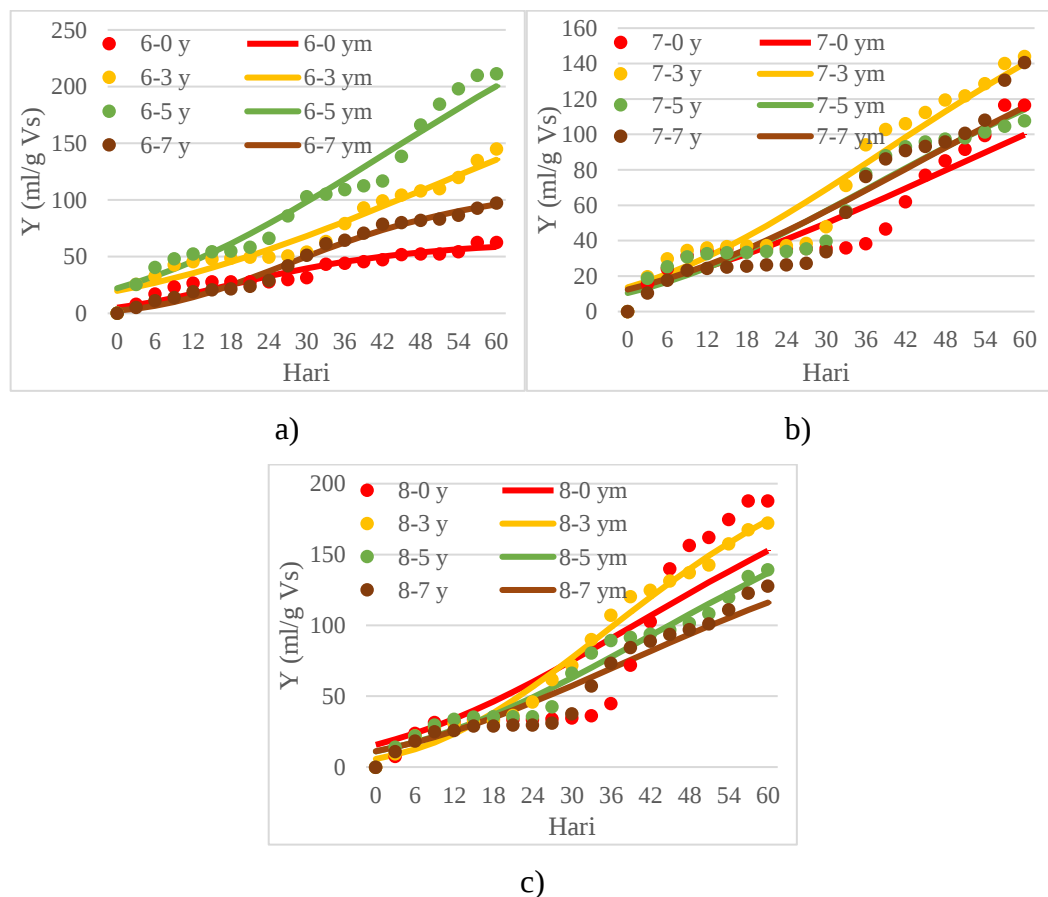
Data penelitian yang telah diambil, digunakan sebagai parameter variabel untuk memodelkan kinetika biogas dengan Modified Gompertz. Konstanta variabel kinetika y_m , μ , dan λ ditentukan dengan regresi non-linear pada software Polymath. Dibawah ini adalah data kinetika yang didapatkan dari permodelan.

Tabel 4.5 Permodelan kinetika biogas

Variasi	λ (hari)	μ (ml/g VS/hari)	y_m (ml/g Vs)	R^2
0gram pH6	-1.099	1.312	64.130	0.914
3gram pH6	1.101	2.301	318.329	0.951
5gram pH6	2.010	3.482	384.166	0.961
7gram pH6	6.905	2.174	114.359	0.986
0gram pH7	1.101	1.699	215.664	0.867
3gram pH7	2.010	2.461	242.041	0.943
5gram pH7	1.931	2.022	186.019	0.930
7gram pH7	2.010	2.012	216.738	0.906

0gram pH8	2.010	2.670	275.545	0.802
3gram pH8	2.010	2.915	252.325	0.986
5gram pH8	5.435	2.535	256.272	0.967
7gram pH8	2.010	2.044	197.913	0.941

Dari hasil permodelan ditabel 4.3, didapatkan nilai regresi (R^2) yang paling mendekati satu ialah pada variasi 3 gram pH 8 serta 7 gram pH 6. λ adalah lag pHase atau hari dimana pertama kali terbentuk biogas. Sedangkan μ adalah laju pembentukan biogas perhari, serta ym adalah yield biogas hasil permodelan^[5].



Gambar 4.19 Grafik Pemodelan Gomperzt a). Variasi pH 6, b). Variasi pH 7, c). Variasi pH 8

Substrat pada variasi 5 gram pH 6 memiliki nilai ym yang paling besar yaitu 384,166 ml/g Vs dibandingkan dengan variasi lain. Artinya lebih banyak biogas

yang dihasilkan pada variasi tersebut. Dengan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri di dalam digester berjalan dengan baik sehingga dapat memproduksi biogas dengan maksimal.

Menurut Budiyo et.al^[44], semakin banyak nilai y_m , maka nilai μ juga semakin besar, hal ini disebabkan karena semakin banyak biogas yang dihasilkan, maka laju produksi biogas per harinya juga besar. Hal ini sesuai dengan data permodelan dari table 4.3 dimana nilai μ pada variasi 5 gram pH 6 sebesar 3,482 ml/g VS/ hari dan nilai y_m sebesar 384,166 ml/g VS. Bakteri membutuhkan jumlah karbon sebagai sumber nutrisi dan juga nitrogen untuk membangun sel, sehingga keberadaan nitrogen yang dipengaruhi pH serta nilai karbon yang dipengaruhi substrat sangat mempengaruhi nilai dari μ dan y_m ^[5].

4.5 Optimasi Biogas

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai optimasi biogas, baik dari segi volume dan juga kandungan metan. Tabel 4.6 menunjukkan hasil produksi biogas pada penelitian ini.

Tabel 4.6 Tabel Produksi Biogas

Variasi	Komposisi			C/N	pH		TS Removal (%)	Volume biogas (ml/g VS)
	LCT (ml)	Rumen (ml)	Kiambang (g)		Awal	Akhir		
V1	250	25	0	16	6	6.7	15.46	62.56
V2	250	25	0	16	7	6.7	18.21	116.45
V3	250	25	0	16	8	6.8	18.19	187.91
V4	250	25	3	20.9462	6	6.8	12.73	144.82
V5	250	25	3	20.9462	7	6.75	18.52	144.08
V6	250	25	3	20.9462	8	6.7	7.18	172.36
V7	250	25	5	21.0958	6	6.8	36.64	211.20
V8	250	25	5	21.0958	7	6.8	37.28	107.69
V9	250	25	5	21.0958	8	6.35	28.91	139.38
V10	250	25	7	21.1627	6	6.8	23.10	97.13
V11	250	25	7	21.1627	7	6.85	24.25	140.51
V12	250	25	7	21.1627	8	6.8	22.27	127.73

Keterangan : LCT (Limbah Cair Tahu), Volume biogas (mL/g VS), kadar metan (%), Volume metan (mL/g VS).

Menurut Drosch et.al^[48], biogas yang optimum mempunyai volume dan kandungan metan yang besar. Volume biogas dan kandungan metan digambarkan dengan volume metan. Semakin besar volume metan, maka semakin baik biogas

tersebut. Dilihat pada table 4.6, volume metana yang terbesar ada pada variasi V3 yaitu 173,92 mL/g VS dimana pada variasi ini, nilai rasio C/N ialah 21,09 serta komposisi substrat yang digunakan ialah 5 gram kiambang dan 250 mL limbah cair tahu. Untuk volume metana terbesar kedua dan ketiga ada pada variasi V10 dan V6 dimana volume metana yang didapatkan sebesar 152,07 dan 173,92 mL/g VS. Variasi V10 dan V6 mempunyai nilai C/N yang sama yaitu 20,94. Menurut beberapa literatur, kondisi C/N optimal dalam pembuatan biogas tergantung dengan substrat yang digunakan. Menurut Pratama et.al^[10], kondisi rasio C/N yang optimum untuk pembuatan biogas adalah 20-30, sedangkan Anggraini et.al^[7] menyebutkan dalam jurnalnya bahwa C/N optimal adalah 25-30. Hal ini diperkuat dengan jurnal dari Dioha et.al^[49] bahwa pada jurnalnya, ia meneliti C/N pada berbagai rasio dimana rasio C/N optimumnya ada pada rentang 20-30 dengan C/N optimum 24:1. Pada variasi C/N 16, memiliki volume biogas yang cukup besar tapi mempunyai kandungan metan yang lebih kecil, ini dapat terlihat di tabel 4.6 variasi C/N 16 pada ph 8 dimana volume biogas yang dihasilkan adalah 187.91 mL/g VS tapi mempunyai kandungan metan yang kecil yaitu 14,67 % sehingga volume metan yang dihasilkanpun kecil. Untuk variasi C/N 21,16, disemua rentan ph mempunyai volume metan yang cukup kecil. Hal ini dikarenakan C/N 21,16 terlalu besar. Apabila ratio C/N bahan organik tinggi, berarti kadar karbon lebih banyak dari pada kadar nitrogen, sehingga mikroorganisme akan kekurangan nitrogen untuk metabolisme yang akan mengakibatkan terhambatnya proses perkembangan dari organisme dan menyebabkan produksi biogas akan berkurang.

Pada penelitian ini juga menentukan kondisi ph optimum dimana ph optimum yang dimaksud adalah *initial pH*, atau bisa disebut dengan Ph awal. Pada penelitian ini, kondisi ph optimumnya adalah pH 6 dimana pada semua variasi C/N, jumlah volume metannya paling besar dibandingkan dengan variasi pH lainnya. Menurut Pratama et.al^[10], proses *anaerobic digestion* berlangsung pada kondisi ph 6 – 7 dengan ph optimal 7. Yang dimaksud Pratama et.al^[10] adalah pH optimal untuk proses pembentukan biogas, tapi sebagaimana yang disampaikan oleh Saputra^[16] bahwa dalam proses pembuatan biogas, dilalui dalam empat tahap, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Initial pH atau pH awal berpengaruh

pada proses hidrolisis yaitu tahap awal pembentukan biogas. Menurut Pratama et.al^[15], pH optimum yang diperlukan untuk bakteri asidogenesis yaitu 5 sampai 6,5 sedangkan untuk bakteri metanogenesis diatas 6,5. Hal ini menunjukkan ketika pH awal dibuat 6, maka bakteri asidogenesis lebih aktif sehingga menghasilkan gula, asam amino serta asam lemak yang lebih banyak sehingga membuat tahap selanjutnya seperti asetogenesis dan metanogenesis lebih maksimal. Pada tabel 4.6 terlihat bahwa di berbagai variasi pH, pH akhirnya akan mendekati 7.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian “Pengaruh pH dan Rasio C/N Terhadap Produksi Biogas Dari Co-Digestion Limbah Cair Tahu dan Kiambang (*Salvinia Molesta*)” ini, bisa disimpulkan menjadi beberapa poin, yaitu:

- A. Biogas dapat dihasilkan melalui proses fermentasi anaerob dari Co-Digestion limbah cair tahu dan kiambang.
- B. Biogas yang optimal, mempunyai volume dan kandungan metan yang besar (Volume metan).
- C. Semakin kecil rasio C/N dalam substrat biogas, maka akan semakin banyak amonium, ammonia, dan VFAs yang terbentuk.
- D. Variasi yang memproduksi biogas optimum ada pada variasi C/N 21,09 pada pH 6 dimana total biogas yang diproduksi adalah 211,2 ml/g VS dan kandungan metan sebesar 82,35% serta nilai TS Removal sebesar 36,64% serta volume metan sebesar 173,92 ml/g VS.
- E. Perbandingan komposisi kiambang dan limbah cair tahu yang optimal adalah 250 mL limbah cair tahu dan 5 gram kiambang.
- F. Nilai C/N yang kecil memiliki volume biogas yang cukup besar tetapi memiliki kandungan metan yang sedikit serta udara yang besar.
- G. Nilai pH yang optimal dalam penelitian ini adalah pH 6. Dimana volume metan yang dihasilkan pada variasi C/N 16; 20,94; 21,09; dan 21,16 berturut-turut adalah 43,11; 124,48; 173,92; 72,38; ml/g VS

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan agar digester biogas dimodifikasi supaya pengukuran pH dan kandungan ammonia tidak perlu membuka botol digester dan bisa meminimalisir oksigen atau udara yang masuk kedalam digester.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tuti Haryati 2006 Biogas: “Limbah Peternakan Yang Menjadi Sumber Energy Alternative”. WARTAZOA Vol. 16 No.3 Th. 2006
- [2] Pribadi Edi Janwar. 2011. “Produksi Biogas Dari Sampah Buah Dengan Campuran Kotoran Sapi Melalui Proses Fermentasi Anaerobic”. Fakultas Teknik, Teknik kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- [3] Agus Setiawan., Retno Rusdijati. 2014. “Peningkatan kualitas Biogas Limbah Cair Tahu Dengan Metode Taguchi”. Teknik Industri. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Magelang
- [4] Sutiningsih Yulis, Nugraha Pratomo. 2011. “Studi Awal Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Albasia Menjadi Biogas”. Fakultas Teknik, Teknik kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- [5] I. Syaichurrozi, Budiyono, S. Sumardiono, “Predicting Kinetic Model Of Biogas Production And Biodegradability Organic Materials: Biogas Production from vinasse at variation of COD/N Ratio”. Bioresource Technology, Vol. 149, pp. 390-397, 2013
- [6] Ayu, Rolasty., Taufan, Dwi, Hari. 2011 “Pengaruh Rasio Substrat Dan Mikroorganisme Serta System Pemberian Umpan Pada Pengolahan Limbah Cair Industry Tahu Dengan Proses Anaerobic” Fakultas Teknik, Teknik kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten
- [7] Anggraini., Mumu, Sutista., Yulianti, Pratama. 2014. Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Anaerob Menggunakan Sistem Batch. Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Nasional Bandung. Bandung
- [8] Winarni P., Trihadiningrum Y., Suprijanto. 2011. “Produksi Biogas Dari Eceng Gondok”. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- [9] Dwiadji Sutrisno. 2016. Produksi Biogas Memanfaatkan Limbah dan Sampah Organik. Jurnal Studi Ilmiah
- [10] Diaz Liansyah, Pratama., Siti Hanggita., Agus Supriyadi. 2015. “Uji Potensi Produksi Biogas Pada Campuran Kiambang (*Salvinia Molesta*) dan Limbah

- Jeroan Ikan Gabus (*Channa Striata*) Menggunakan *Batch Anaerobic Digester*. Fakultas Perikanan. Universitas Sriwijaya. Sumatra Selatan
- [11] Wahyu kurniawan, Herpandi, Susi Lestari. 2016. “Uji Potensi Biogas Dari Limbah Jeroan Ikan Patin (*Pangasius sp.*) dan Campuran Kiambang (*Salvinia Molesta*) Secara Anaerob Batch”. Program Studi Teknologi Hasil Perikanan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Indralaya
- [12] Faishal, Miftahul Huda., Nimas, Amelia Iswara. 2015. Produksi Biogas Dari Kombinasi Limbah Cair Industri Tapioka dan Limbah Cair Industri Tahu pada Berbagai Variasi C/N dan Jenis Lumpur Aktif. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Diponogoro. Semarang
- [13] Antara, N.Y., 1993, “Aklisasi Lumpur Aktif dan Penerapannya dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu”, Tesis S2, Ilmu dan Teknologi Pangan UGM. Yogyakarta
- [14] Abas Sato, Priyo Utomo, Hafid Sustantyo Bima Abineri. 2015. Pegolahan Limbah Cair Tahu Secara Anaerobik-aerobik Kontinyu. Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama. Surabaya
- [15] Purwa, Saputra. 2016. Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas. Faultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Mali Ibrahim. Malang
- [16] Pradhan, Pratiksha dan Gireesh Babu K. 2012. Isolation and identification of Methanogenetic Bacteria From Cowdung. International Journal of Current Research, Vol. 4, Issue 07
- [17] Hardoyo. 2014. Panduan Praktis Membuat Biogas Portabel Skala Rumah Tangga dan Industri. Yogyakarta: Lily Publisher
- [18] Padmono, Djoko. 2007. Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyanggan (*Buffer Capacity*) dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed. Jurnal Tek. Lingkungan. Vol.8, No. 2: 119-127
- [19] Nurtiyani, E. 2000. “Mikroalga *Chlorella sp* Dapat Menormalkan Limbah Tahu”, Lembaga Penelitian dan Penegmbangan UI, Jurusan Biologi Fakultas Ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Depok

- [20] Sjafruddin, Rahmiah. 2011. Produksi Bioas dari Substrat Campuran Sampah Buah Menggunakan Starter Sapi. *Jurnal Teknologi Media Perspektif*, Vol. 11, Nomor 2: 62-119
- [21] Sunarto. 2013. Karakteristik Metanogen Selama Proses Fermentasi Anaerob Biomassa Limbah Makanan. *Jurnal EKOSAINS*. Vol. V, No. 1
- [22] Pramudyanto dan Nurhasan, 1991, “Penanganan Limbah Pabrik Tahu”, Yayasan Bina Lestari Semarang
- [23] Wahyuni, Sri. 2013. “Panduan Praktis Biogas” Jakarta. Penebar Swadaya
- [24] Harahap, V. I. 2007. “Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi Dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian Terhadap Biogas Yang Dihasilkan Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatra Utara. Medan
- [25] Suprpti, L. 2005. “Pembuatan Tahu”. Teknologi Pengolahan Pangan, kanisius, Yogyakarta
- [26] Repley, B. S., Muller, E., Behenna, M. 2006. “Biomass And Photosynthetic Productyivity of Water Hyacinth as Effected by Nutrient Supply and Mirid Biocontrol”. *Biological Control* 39, 392-400
- [27] Wahjono. D. H., dan N. I. Said. 2010. “Teknologi Pengolahan Air Limbah Tahu-Tempe Degan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob”. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta Pusat
- [28] Bahri, S. 2006. “Pemanfaatan Tumbuhan Air (Azzola) Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Desa Bandrajaya Kecamatan Terbanggi Besar Lampung Tengah’. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung. Lampung
- [29] Kaswinarni, Fibria. 2007. Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Industri Limbah Cair Tahu (Studi Kasus Di Industri Tahu Tandang Semarang, Kendal dan Gagak Sipat Boyolali). Semarang: Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana. Universitas Diponogoro Semarang
- [30] Dwi, Rukma Puspayana., dan Alia Damayanti. 2013. “Pengolahan Limbah Cair Tahu MEnggunakan Membran Nanofiltrasi Silika Aliran *Cross Flow* untuk Menurunkan Kadar Nitrat dan Ammonium”. Jurusan Teni Lingkungan,

- Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 2, (2013) ISSN: 2337-3539
- [31] Herlambang, A. 2002. “Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu” Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Bapedal. Samarinda
- [32] Kavuma, C. 2013. “*Variation of Methane and Carbondioxide Yield in a Biogas Plant*” MSc Thesis (unpublished). Stockholm, Sweden: Department of Energy Technology, Royal Institute Technology
- [33] Gunter Bohman, Rudolf, Bernhard Drosch. 2013. “*Analysis and Characterisation of Biogas Feedstocks*”. University of Natural Resources and Life Sciences, Austria and TEODORITA AL SAEDI, BIOSANTECH, Denmark
- [34] Liansyah D. 2015. “Uji Potensi Biogas Pada Campuran Kambing dan Limbah Jeroan Ikan Gabus Menggunakan *Batch Anaerob Reactor*” [Thesis] Inderalaya: Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya
- [35] Kresnawaty I, Susanti I, Siswanto, Panji T. 2008. “Optimasi Produksi Biogas dari Limbah Lateks Cair Pekat Dengan Penambahan Logam” Jurnal Menara Perkebunan
- [36] Manendar, R. 2010. “Pengolahan Limbah Cair Rumah Pemotongan hewan (RPH) dengan metode fotokatalitik TiO_2 : Pengaruh Waktu kontak terhadap kualitas BOD, COD dan pH Effluen”. Thesis. Program Studi Kesehatan Masyarakat Veteriner Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor
- [37] Priyanto, B. dan Priyanto, J. 2002. “Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Penemuan, Khususnya Logam Berat
- [38] Musafira, Syaiful Basri, Ihsan arsul. “Produksi Biogas Menggunakan Cairan Isi Rumen Sapi Dengan Limbah Cair Tempe”. Lab Kimia Organik, Fakultas MIPA, Universitas Tadulako
- [39] Abbasi, A. S. and Dr. Nipaney, P. C. 1993. “Modeling and Simulation of Biogas Systems Economics”. Ashish Publishing House 8/81 Panjabi Bagh. New Delhi. 110026

- [40] Budiyono, I. Syaichurrozi, S. Sumardiono. 2014. "Effect of Total Solid Content to Biogas Production Rate From Vinnase". Department of *Chemical Engineering, University of Diponogoro*. Semarang-50275, Indonesia., IJE TRANSACTIONS B: Application Vol. 27, No. 2, (February 2014) 177-184
- [41] Tanata, Syervy. 2013. "Pengaruh Waktu Fermentasi Campuran Limbah Padat dan Limbah Cair Industri Tapioka Terhadap Gas Bio yang Dihasilkan". Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara
- [42] Rahmadian Bindari. 2012. Study Teknoekonomi Pembuatan Biogas Di Pt. Shgw (Stichting Hetgroene Woudet) Bio Tea Indonesia. Jurnal Energi Alternatif.
- [43] Fairus, Sirin., Salafudin., Rahman, Lathifa dan Apriani, Emma. 2011. "Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Energi Alternatif Energi: Biogas dan *Preursor Briket*" Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Nasional. Bandung
- [44] Budiyono, Iqbal Syaichurrozi, Siswo Sumardiono, 2014. "Kinetic Model Of Biogas Yield Production from Vinnase at Various Initial pH between Modified Gompertz Model and First Order Kinetic Model". Departement of Chemical Engineering, University of Diponogoro, Semarang -50275, Indonesia. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 7(13): 2798-2805.2014.
- [45] Kafle, G.K., S.H. Kim and K.I. Sung, 2012. Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of Biochemical Methane Potential (BMP) and kinetics. *Bioresour. Technol.*, 127: 326-336.
- [46] Syaichurrozi Iqbal, 2017. "Biogas Production from Co-digestion *Salvinia Molesta* and Rice Straw and Kinetics". Departement of Chemical Engineering, University of Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia. Renewable Energy 2017 Journal.
- [47] R. Rajagopal, D.I. Massé, G. Singh, A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia, *Bioresource Technology* 143 (2013) 632–641.

- [48] Bernhard Drosch, Rudolf Braun, Gunther Bochmann, 2013, “Analysis and Characterisation of biogas feedstocks”. University of Natural Resources and Life Sciences, Austria and Teodorita Al Saedi, Biosantech, Denmark
- [49] I.J. Dioha, C.H. Ikeme, T.Nafi’u, N.I.Soba and Yusuf M.B.S., 2013. “EFFECT OF CARBON TO NITROGEN RATION ON BIOGAS PRODUCTION”. Energy Commission of Nigeria, Central Area, Garki, Abuja, Nigeria. International Research Journal of Natural Sciences Vol.1 no.3 pp.1 1-10, September 2013.
- [50] Zhiyang Xu, Mingxing Zhao, Hengfeng Miao, Zhenxing Huang, Shumei Gao, Wequan Ruan. 2014. “*In Situ* volatile fatty acids influence biogas generation from kitchen wastes by anaerobic digestion”. *Bioreresource Technology*, 2014.

LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN

A. Data Komposisi Bahan

Percobaan	Kiambang (gr)	LCT (ml)	Rumen (ml)	pH	Hasil terbaik
1	0	250	25	6	Perbandingan pH terbaik tanpa penambahan kiambang
2		250	25	7	
3		250	25	8	
4	3	250	25	6	Perbandingan pH dan komposisi campuran kiambang terbaik
5		250	25	7	
6		250	25	8	
7	5	250	25	6	
8		250	25	7	
9		260	25	8	
10	7	250	25	6	
11		250	25	7	
12		250	25	8	

B. Data Volume Biogas

Ph6 0 gram					Ph6 3 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif	hari ke	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B				A	B		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	9,133	6,8497	7,9913	7,991342	3	15,847	35,351	25,599	25,5987
6	10,5	7,3064	8,9046	16,89598	6	6,3387	7,3139	6,8263	32,425
9	8,22	4,5665	6,3931	23,28905	9	11,702	8,7767	10,239	42,6645
12	2,74	3,6532	3,1965	26,48559	12	2,9256	2,6818	2,8037	45,4682
15	0,913	1,8266	1,3699	27,85553	15	2,1942	2,6818	2,438	47,9061
18	0	0	0	27,85553	18	0	1,4628	0,7314	48,6375
21	0	0	0	27,85553	21	0,9752	0,4876	0,7314	49,3689
24	0	0	0	27,85553	24	0	0	0	49,3689
27	0	3,6532	1,8266	29,68213	27	0,7314	1,7066	1,219	50,5879
30	0	3,6532	1,8266	31,50872	30	0,9752	5,8511	3,4132	54,0011
33	0	23,746	11,873	43,38157	33	16,334	2,1942	9,2643	63,2654
36	0	1,3699	0,685	44,06654	36	15,115	16,822	15,969	79,2341
39	0	2,7399	1,3699	45,43649	39	19,748	7,5577	13,653	92,8867
42	0	3,6532	1,8266	47,26308	42	11,215	1,4628	6,3387	99,2255
45	0	8,6763	4,3382	51,60124	45	6,8263	3,4132	5,1197	104,345
48	0	1,3699	0,685	52,28621	48	3,9008	3,1694	3,5351	107,88
51	0	0	0	52,28621	51	1,9504	1,9504	1,9504	109,831
54	2,74	1,3699	2,0549	54,34113	54	7,8015	12,19	9,9957	119,826
57	16,44	0	8,2197	62,56079	57	20,479	9,5081	14,994	134,82
60	0	0	0	62,56079	60	12,434	7,5577	9,9957	144,816

Ph6 5 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	26,97	24,18	25,575	25,57488
6	14,88	15,066	14,973	40,5478
9	11,346	3,72	7,533	48,08077
12	4,464	3,906	4,185	52,26575
15	1,86	2,418	2,139	54,40474
18	0	0,744	0,372	54,77674
21	2,046	5,022	3,534	58,31072
24	3,906	11,718	7,812	66,12268
27	11,904	27,9	19,902	86,02459
30	20,274	13,392	16,833	102,8575
33	4,65	0	2,325	105,1825
36	6,882	0,744	3,813	108,9955
39	3,72	2,976	3,348	112,3435
42	3,72	5,022	4,371	116,7144
45	6,882	36,456	21,669	138,3833
48	8,928	46,5	27,714	166,0972
51	10,416	26,04	18,228	184,3251
54	17,484	9,858	13,671	197,996
57	18,042	5,58	11,811	209,807
60	2,418	0,372	1,395	211,202

Ph6 7 gram				
hari ke	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	7,217	3,007	5,112	5,112036
6	6,0142	5,713	5,8638	10,97584
9	4,0596	1,955	3,0071	13,98292
12	5,4127	4,661	5,0369	19,01978
15	1,9546	1,504	1,7291	20,74885
18	0,6014	1,052	0,8269	21,5758
21	0	4,661	2,3305	23,90629
24	0	10,07	5,0369	28,94315
27	0	25,86	12,93	41,87359
30	0,3007	18,04	9,1716	51,04519
33	19,245	1,504	10,374	61,41961
36	3,7589	2,406	3,0823	64,50187
39	10,525	1,804	6,1645	70,66638
42	14,284	1,504	7,8936	78,55997
45	1,5035	1,052	1,278	79,83798
48	3,3078	0,902	2,105	81,94293
51	1,2028	1,203	1,2028	83,14577
54	4,3603	2,556	3,4581	86,60391
57	10,675	1,353	6,0142	92,61807
60	8,1191	0,902	4,5106	97,12869

Ph7 0 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	18,27	13,243	15,754	15,75436
6	5,936	10,96	8,448	24,20235
9	5,48	9,133	7,3064	31,50872
12	1,37	4,1098	2,7399	34,24861
15	0,913	1,3699	1,1416	35,39023
18	0	0	0	35,39023
21	0	0	0	35,39023
24	0	0	0	35,39023
27	0,457	0	0,2283	35,61855
30	0	0	0	35,61855
33	0,457	0	0,2283	35,84688
36	4,566	0,4566	2,5116	38,35844
39	10,5	5,9364	8,2197	46,57811
42	15,98	14,613	15,298	61,87582
45	26,94	3,1965	15,069	76,94521
48	16,44	0	8,2197	85,16487
51	12,79	0	6,3931	91,55795
54	15,53	0	7,763	99,32096
57	34,25	0	17,124	116,4453
60	0	0	0	116,4453

Ph7 3 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	19,991	19,26	19,626	19,6257
6	10,971	9,2643	10,118	29,7433
9	3,9008	5,6073	4,754	34,4973
12	1,219	1,4628	1,3409	35,8382
15	0,9752	0,7314	0,8533	36,6915
18	0	0,4876	0,2438	36,9353
21	0	0,4876	0,2438	37,1791
24	0	0	0	37,1791
27	0	2,6818	1,3409	38,52
30	4,6321	14,14	9,3862	47,9061
33	28,037	18,529	23,283	71,1888
36	28,037	17,797	22,917	94,1057
39	11,215	6,0949	8,6548	102,761
42	6,5825	0	3,2913	106,052
45	11,702	0,9752	6,3387	112,391
48	11,702	2,1942	6,9482	119,339
51	0	4,8759	2,438	121,777
54	3,657	10,239	6,9482	128,725
57	6,8263	15,603	11,215	139,94
60	1,4628	6,8263	4,1446	144,084

Ph7 5 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	10,23	27,342	18,786	18,78591
6	8,928	3,906	6,417	25,20288
9	4,278	6,882	5,58	30,78285
12	1,302	2,418	1,86	32,64284
15	0,744	0,558	0,651	33,29384
18	0	0,372	0,186	33,47984
21	0,744	0	0,372	33,85184
24	0	0	0	33,85184
27	1,674	1,302	1,488	35,33983
30	6,51	2,232	4,371	39,71081
33	11,16	22,692	16,926	56,63673
36	19,158	23,064	21,111	77,74763
39	7,068	13,392	10,23	87,97758
42	4,092	5,952	5,022	92,99955
45	3,162	2,232	2,697	95,69654
48	2,418	0,93	1,674	97,37053
51	0	1,488	0,744	98,11453
54	0	6,324	3,162	101,2765
57	2,976	3,72	3,348	104,6245
60	2,79	3,348	3,069	107,6935

Ph7 7 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	10,074	10,98	10,525	10,52478
6	5,4127	9,021	7,217	17,74177
9	4,2099	6,916	5,5631	23,30487
12	0,6014	1,504	1,0525	24,35735
15	0,3007	1,203	0,7518	25,10912
18	0,3007	0,752	0,5262	25,63536
21	1,3532	0	0,6766	26,31195
24	0	0	0	26,31195
27	0	1,955	0,9773	27,28925
30	7,0666	6,014	6,5404	33,82965
33	19,696	24,51	22,102	55,93169
36	20,448	20,3	20,373	76,30466
39	8,2695	11,28	9,773	86,07767
42	4,5106	4,962	4,7362	90,81382
45	2,7064	1,955	2,3305	93,14431
48	3,6085	1,504	2,556	95,70033
51	6,0142	3,759	4,8865	100,5868
54	3,1574	11,73	7,4425	108,0294
57	24,057	21,05	22,553	130,5825
60	9,1716	10,68	9,9234	140,5058

Ph8 0 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	3,197	11,873	7,5347	7,534694
6	14,61	18,266	16,439	23,97403
9	5,936	9,133	7,5347	31,50872
12	0	0,9133	0,4566	31,96537
15	1,37	1,8266	1,5983	33,56364
18	0	0	0	33,56364
21	0	0	0	33,56364
24	0	0	0	33,56364
27	0	0,9133	0,4566	34,02028
30	0	1,3699	0,685	34,70526
33	1,827	1,3699	1,5983	36,30352
36	10,5	6,8497	8,6763	44,97984
39	23,29	30,595	26,942	71,92208
42	27,4	34,249	30,824	102,7458
45	27,86	46,578	37,217	139,9626
48	19,18	13,699	16,439	156,402
51	11,42	0	5,7081	162,1101
54	14,16	11,416	12,786	174,8962
57	14,16	11,873	13,014	187,9107
60	0	0	0	187,9107

Ph8 3 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	8,5329	10,239	9,3862	9,38619
6	11,702	13,653	12,677	22,0636
9	5,1197	6,5825	5,8511	27,9148
12	3,657	1,9504	2,8037	30,7184
15	1,219	1,219	1,219	31,9374
18	0,7314	0,4876	0,6095	32,5469
21	7,8015	0	3,9008	36,4477
24	19,26	0	9,63	46,0777
27	30,231	1,219	15,725	61,8026
30	14,14	5,6073	9,8738	71,6764
33	21,454	15,359	18,407	90,0831
36	2,1942	31,937	17,066	107,149
39	9,7519	16,578	13,165	120,314
42	4,1446	4,8759	4,5102	124,824
45	2,438	10,727	6,5825	131,407
48	2,9256	8,7767	5,8511	137,258
51	1,219	9,7519	5,4854	142,743
54	5,6073	24,136	14,872	157,615
57	10,971	9,0205	9,9957	167,611
60	5,3635	4,1446	4,754	172,365

Ph8 5 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	18,423	9,8629	14,143	14,14303
6	6,5132	9,3046	7,9089	22,05197
9	7,8159	7,6298	7,7228	29,77481
12	4,2801	3,7219	4,001	33,7758
15	1,4887	1,8609	1,6748	35,45063
18	0	0,1861	0,093	35,54368
21	0	0,3722	0,1861	35,72977
24	0	0	0	35,72977
27	4,6523	8,9324	6,7924	42,52215
30	16,748	30,705	23,727	66,24895
33	6,5132	22,331	14,422	80,67112
36	8,1881	9,1185	8,6533	89,32443
39	0	4,8384	2,4192	91,74363
42	1,8609	2,4192	2,1401	93,8837
45	3,9079	1,8609	2,8844	96,76813
48	8,9324	0,9305	4,9315	101,6996
51	12,468	0,7444	6,6063	108,3059
54	19,354	3,7219	11,538	119,8436
57	22,703	6,8854	14,794	134,638
60	3,1636	6,3271	4,7454	139,3833

Ph8 7 gram				
	volume biogas		Av	Kumulatif
	A	B		
0	0	0	0	0
3	12,63	9,322	10,976	10,97584
6	6,0142	9,172	7,5929	18,56872
9	6,7659	6,014	6,39	24,95877
12	1,5035	0,451	0,9773	25,93607
15	1,2028	4,962	3,0823	29,01832
18	0,3007	0	0,1504	29,16868
21	0,6014	0,601	0,6014	29,77009
24	0	0	0	29,77009
27	0	2,706	1,3532	31,12328
30	1,2028	11,73	6,4652	37,5885
33	30,973	8,269	19,621	57,2097
36	15,035	17,44	16,238	73,44793
39	15,486	6,315	10,901	84,3486
42	6,1645	3,007	4,5858	88,9344
45	6,9163	2,706	4,8113	93,74572
48	4,661	2,105	3,383	97,12869
51	5,8638	1,955	3,9092	101,0379
54	13,081	6,916	9,9985	111,0364
57	13,382	10,07	11,728	122,764
60	1,5035	8,42	4,9617	127,7257

C. Data Pengukuran pH

Ph6 0 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	5,9	6	5,95	0
3	6,2	6,1	6,15	0
6	6	5,9	5,95	0
9	6,4	6,3	6,35	0
12	6,2	6,3	6,25	0
15	6,2	6,3	6,25	0
18	6	5,9	5,95	0
21	6	6	6	0
24	6,1	6	6,05	0
27	6,3	6,2	6,25	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,5	6,5	6,5	0
36	6,4	6,5	6,45	0
39	6,5	6,6	6,55	0
42	6,8	6,9	6,85	0
45	6,6	6,5	6,55	0
48	6,6	6,6	6,6	0
51	6,6	6,5	6,55	0
54	6,6	6,6	6,6	0

Ph6 3 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	6	5,9	5,95	0
3	6,2	6,2	6,2	0
6	6	6,1	6,05	0
9	6,2	6,4	6,3	0
12	6,3	6,3	6,3	0
15	6,2	6,3	6,25	0
18	6	6	6	0
21	6	6	6	0
24	6,1	6,2	6,15	0
27	6,3	6,2	6,25	0
30	6,8	6,9	6,85	0
33	6,4	6,5	6,45	0
36	6,3	6,4	6,35	0
39	6,7	6,9	6,8	0
42	6,7	6,7	6,7	0
45	6,8	6,7	6,75	0
48	6,6	6,7	6,65	0
51	6,5	6,7	6,6	0
54	6,7	6,8	6,75	0

57	6,7	6,6	6,65	0
60	6,7	6,7	6,7	0

57	6,6	6,8	6,7	0
60	6,8	6,8	6,8	0

Ph6 5 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	5,9	6	5,95	0
3	6,1	6	6,05	0
6	6	6,1	6,05	0
9	6,4	6,4	6,4	0
12	6,3	6,3	6,3	0
15	6,3	6,2	6,25	0
18	6	5,9	5,95	0
21	5,8	6	5,9	0
24	6,2	6	6,1	0
27	6,2	6,3	6,25	0
30	6,9	6,8	6,85	0
33	6,5	6,5	6,5	0
36	6,6	6,5	6,55	0
39	6,5	6,5	6,5	0
42	6,8	6,8	6,8	0
45	6,7	6,7	6,7	0
48	6,7	6,8	6,75	0
51	6,5	6,6	6,55	0
54	6,6	6,6	6,6	0
57	6,9	6,8	6,85	0
60	6,7	6,9	6,8	0

Ph6 7 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	5,9	6	5,95	0
3	5,8	6,2	6	0
6	5,9	6	5,95	0
9	6,3	6,4	6,35	0
12	6,3	6,3	6,3	0
15	6,2	6,2	6,2	0
18	6,1	6	6,05	0
21	5,9	5,9	5,9	0
24	6,2	6	6,1	0
27	6,2	6,3	6,25	0
30	6,6	6,8	6,7	0
33	6,4	6,5	6,45	0
36	6,6	6,3	6,45	0
39	6,6	6,6	6,6	0
42	6,9	6,8	6,85	0
45	6,6	6,5	6,55	0
48	6,7	6,5	6,6	0
51	6,5	6,8	6,65	0
54	6,8	6,6	6,7	0
57	6,9	6,7	6,8	0
60	6,7	6,9	6,8	0

Ph7 0 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	7	7	7	0
3	6,3	6,3	6,3	0
6	6	6	6	0
9	6,5	6,4	6,45	0
12	6,2	6,4	6,3	0
15	6,3	6,3	6,3	0
18	6	6	6	0
21	5,8	5,9	5,85	0
24	6,2	6,1	6,15	0
27	6,5	6,2	6,35	0
30	6,9	6,8	6,85	0
33	6,4	6,4	6,4	0
36	6,3	6,6	6,45	0
39	6,5	6,5	6,5	0
42	6,7	6,8	6,75	0
45	6,6	6,5	6,55	0
48	6,6	6,5	6,55	0

Ph7 3 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	7	7	7	0
3	6,2	6,2	6,2	0
6	5,9	5,9	5,9	0
9	6,4	6,4	6,4	0
12	6,4	6,2	6,3	0
15	6,3	6,3	6,3	0
18	5,9	5,8	5,85	0
21	5,9	5,9	5,9	0
24	6,1	6,2	6,15	0
27	6,2	6,3	6,25	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,6	6,6	6,6	0
36	6,6	6,4	6,5	0
39	6,8	7	6,9	0
42	6,8	6,7	6,75	0
45	6,6	6,6	6,6	0
48	6,7	6,7	6,7	0

51	6,8	6,7	6,75	0
54	6,6	6,7	6,65	0
57	6,6	6,6	6,6	0
60	6,6	6,8	6,7	0

51	6,6	6,7	6,65	0
54	6,6	6,7	6,65	0
57	6,7	6,7	6,7	0
60	6,7	6,8	6,75	0

Ph7 5 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	6,9	7	6,95	0
3	6,2	6,2	6,2	0
6	6,1	6	6,05	0
9	6,4	6,3	6,35	0
12	6,2	6,3	6,25	0
15	6,3	6,2	6,25	0
18	6	6	6	0
21	6	6	6	0
24	5,9	6,3	6,1	0
27	6,4	6,3	6,35	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,4	6,5	6,45	0
36	6,6	6,4	6,5	0
39	6,7	6,7	6,7	0
42	6,7	6,9	6,8	0
45	6,6	6,7	6,65	0
48	6,7	6,5	6,6	0
51	6,7	6,7	6,7	0
54	6,7	6,8	6,75	0
57	6,8	6,9	6,85	0
60	6,8	6,8	6,8	0

Ph7 7 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	7	6,9	6,95	0
3	6,2	6,1	6,15	0
6	6	6,1	6,05	0
9	6,4	6,5	6,45	0
12	6,4	6,3	6,35	0
15	6,3	6,2	6,25	0
18	6	6	6	0
21	6	6	6	0
24	6,2	6	6,1	0
27	6,2	6,3	6,25	0
30	6,8	6,9	6,85	0
33	6,6	6,5	6,55	0
36	6,5	6,5	6,5	0
39	6,7	6,7	6,7	0
42	6,8	6,8	6,8	0
45	6,7	6,6	6,65	0
48	6,6	6,7	6,65	0
51	6,8	6,7	6,75	0
54	6,7	6,6	6,65	0
57	6,9	6,9	6,9	0
60	6,9	6,8	6,85	0

Ph8 0 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	7,9	8	7,95	0
3	6,2	6,2	6,2	0
6	6,1	6,1	6,1	0
9	6,4	6,4	6,4	0
12	6,3	6,3	6,3	0
15	6,2	6,3	6,25	0
18	6	6,1	6,05	0
21	5,9	5,9	5,9	0
24	6,1	6	6,05	0
27	6,2	6,3	6,25	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,5	6,6	6,55	0
36	6,4	6,4	6,4	0
39	6,6	6,7	6,65	0
42	6,8	6,8	6,8	0

Ph8 3 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	7,9	7,9	7,9	0
3	6,2	6,2	6,2	0
6	6,1	6	6,05	0
9	6,3	6,5	6,4	0
12	6,3	6,4	6,35	0
15	6,3	6,3	6,3	0
18	5,9	6	5,95	0
21	5,9	6	5,95	0
24	6,2	6	6,1	0
27	6,5	6,3	6,4	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,6	6,5	6,55	0
36	6,8	6,8	6,8	0
39	6,7	7	6,85	0
42	6,8	6,8	6,8	0

45	6,5	6,7	6,6	0
48	6,8	6,6	6,7	0
51	6,8	6,7	6,75	0
54	6,7	6,7	6,7	0
57	6,7	6,7	6,7	0
60	6,8	6,8	6,8	0

45	6,5	6,6	6,55	0
48	6,7	6,7	6,7	0
51	6,6	6,6	6,6	0
54	6,6	6,7	6,65	0
57	6,7	6,8	6,75	0
60	6,7	6,7	6,7	0

Ph8 5 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	8	8	8	0
3	6	6,1	6,05	0
6	6,1	6,2	6,15	0
9	6,4	6,4	6,4	0
12	6,3	6,2	6,25	0
15	6,3	6,2	6,25	0
18	6	6	6	0
21	5,9	6	5,95	0
24	6,1	6	6,05	0
27	6,2	6,4	6,3	0
30	6,8	6,8	6,8	0
33	6,6	6,5	6,55	0
36	6,6	6,5	6,55	0
39	6,6	6,7	6,65	0
42	6,9	6,9	6,9	0
45	6,5	6,5	6,5	0
48	6,5	6,5	6,5	0
51	6,7	6,8	6,75	0
54	6,8	6,8	6,8	0
57	6,8	6,8	6,8	0
60	6	6,7	6,35	0

Ph8 7 gram				
	pH biogas			
	A	B		
0	8	7,9	7,95	0
3	6,1	6	6,05	0
6	6,2	6,2	6,2	0
9	6,4	6,4	6,4	0
12	6,3	6,3	6,3	0
15	6,2	6,2	6,2	0
18	5,9	6	5,95	0
21	5,9	6	5,95	0
24	6	5,9	5,95	0
27	6,3	6,4	6,35	0
30	6,8	6,9	6,85	0
33	6,6	6,5	6,55	0
36	6,6	6,5	6,55	0
39	6,6	8	7,3	0
42	6,9	6,9	6,9	0
45	6,7	6,8	6,75	0
48	6,6	6,6	6,6	0
51	6,6	6,7	6,65	0
54	6,7	6,8	6,75	0
57	6,6	6,9	6,75	0
60	6,8	6,8	6,8	0

D. Kandungan TAN (Amonia + Amonium)

a. Kadar Ammonium Pada pH 6

Variasi	Amonium Hari-ke (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	111,38	79,97	102,82	239,01	255,3
C/N 22.45	111,38	94,25	128,52	211,85	173,82
C/N 26.75	111,38	108,83	117,1	165,68	176,54
C/N 31.05	111,38	102,82	128,52	168,39	133,08

b. Kadar Ammonium Pada pH 7

Variasi	Amonium Hari-ke (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	111,38	117,1	131,38	274,32	277,03
C/N 22.45	111,38	94,25	102,82	211,85	217,28
C/N 26.75	111,38	105,67	171,36	138,52	203,7
C/N 31.05	111,38	79,97	108,53	133,08	168,39

c. Kadar Ammonium Pada pH 8

Variasi	Amonium Hari-ke (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	111,38	142,8	94,25	255,3	192,84
C/N 22.45	111,38	128,53	128,53	192,84	184,69
C/N 26.75	111,38	139,94	114,24	160,24	143,95
C/N 31.05	111,38	102,82	117,1	157,53	152,1

E. Kandungan VFAs

a. VFAs pada pH 6

Variasi	VFAs (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	89.48	67.52	94.69	211.70	231.49
C/N 22.45	89.48	79.58	119.28	193.60	160.08
C/N 26.75	89.48	91.89	108.68	150.23	162.59
C/N 31.05	89.48	86.11	116.54	149.15	122.56

b. VFAs pada pH 7

Variasi	VFAs (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	105.81	99.67	121.94	242.97	251.20
C/N 22.45	105.81	80.22	94.69	189.12	198.56
C/N 26.75	104.99	89.22	157.81	124.63	187.60
C/N 31.05	104.99	67.52	100.73	119.73	156.29

c. VFAs pada pH 8

Variasi	VFAs (mg/l)				
	0	15	30	45	60
C/N 16	125.25	120.57	86.80	227.91	177.60
C/N 22.45	123.87	109.40	118.37	170.80	167.47
C/N 26.75	126.71	118.15	105.21	140.81	123.51
C/N 31.05	125.25	86.11	108.68	143.96	140.08

F. Konsentrasi Metan Dalam Biogas

SAMPLER	Konsentrasi %					impuritis	total
	METAN	CO ₂	CO	H ₂	UDARA		
Ph6 0 gram	68,90	5,52	0,07	0,03	24,56	0,90	99,10
Ph7 0 gram	34,53	10,07	0,05	0,39	53,56	1,40	98,60
Ph8 0 gram	14,67	11,30	0,10	0,14	71,29	2,49	97,51
Ph6 3 gram	85,96	5,86	0,04	0,03	7,27	0,84	99,16
Ph7 3 gram	88,49	4,90	0,12	0,07	5,05	1,37	98,63
Ph8 3 gram	88,22	4,83	0,00	0,08	6,49	0,38	99,62
Ph6 5 gram	82,35	6,58	0,06	0,10	9,72	1,19	98,81
Ph7 5 gram	74,52	6,17	0,07	0,04	18,59	0,61	99,39
Ph8 5 gram	86,97	4,47	0,04	0,06	7,36	1,10	98,90
Ph6 7 gram	76,05	6,97	0,33	0,05	14,88	1,73	98,27
Ph7 7 gram	86,43	6,27	0,03	0,17	5,54	1,56	98,44
Ph8 7 gram	80,71	5,94	0,03	0,06	12,39	0,88	99,12

Retensi rentang GC	
Metan	1.7-2.5
CO ₂	3,4
CO	1,2
H ₂	0,5
Udara	1

G. Optimasi penelitian

Variasi	LCT (mL)	Kiambang	C/N	pH		Volume	Kadar	Volume
		(g)		Awal	Akhir	Biogas	Metan (%)	Metan
V1	250	0	16.00	6.0	6.7	62.56	68.90	43.11
V2	250	3	20.95	6.0	6.8	144.82	85.96	124.48
V3	250	5	21.10	6.0	6.8	211.20	82.35	173.92
V4	250	7	21.16	6.0	6.8	97.13	74.52	72.38
V5	250	0	16.00	7.0	6.7	116.45	34.53	40.21
V6	250	3	20.95	7.0	6.8	144.08	88.49	127.50
V7	250	5	21.10	7.0	6.8	107.69	74.52	80.25
V8	250	7	21.16	7.0	6.9	140.51	86.43	121.44
V9	250	0	16.00	8.0	6.8	187.91	14.67	27.57
V10	250	3	20.95	8.0	6.7	172.36	88.22	152.07
V11	250	5	21.10	8.0	6.4	139.38	86.97	121.22
V12	250	7	21.16	8.0	6.8	127.73	80.71	103.08

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN DATA

A. Menentukan Nilai C/N

C/N	Komposisi	
	Kiambang (g)	Limbah Cair Tahu (ml)
16.00	0	250
20.95	3	250
21.10	5	250
21.16	7	250

- Data Limbah Cair Tahu (LCT)

COD	COD/N	N Total
576	298,7	13,5

(mg/l)

- Mencari nilai C

$$C = \frac{BM\ C}{BM\ O_2} \times COD$$

$$= \frac{12}{32} \times 576$$

$$= 216\text{ mg/l}$$

Dalam 250ml limbah cair tahu

$$C = 216 \times 0,25\ l = 54\text{ mg}$$

$$N = 13,5 \times 0,25\ l = 3,375\text{ mg}$$

- Menghitung nilai C/N dari data proximate

konsentrasi (%)	%AIR	ASH (%TS)	Lemak Kasar	Protein Kasar	N	VS (%TS)	TOC	C/N
0	11.65	45.44	1.49	9.19	1.47	54.56	30.31	20.61
2	11.65	38.22	1.48	9.27	1.48	61.78	34.32	23.14
4	14.19	36.27	1.3	10.29	1.65	63.73	35.41	21.50
6	14.24	33.37	1.22	10.44	1.67	66.63	37.02	22.16

Dimana:

$$N = PK/6.25$$

$$TS = 100 - \text{Air dalam (\%TS)}$$

$$VS = 100\% \times (TS - \text{ASH}) \text{ dalam (\%TS)}$$

$$TOC = VS/1.8$$

- **Mencari nilai C/N**

$$\begin{aligned} C/N &= \frac{\text{Nilai C}}{N \text{ total}} \\ &= \frac{54}{3,375} \\ &= 16 \end{aligned}$$

Untuk 3 gram kiambang dan 250ml limbah cair tahu

$$\begin{aligned} C/N &= \frac{\text{Nilai C (3 gram kiambang + 250 ml limbah cair tahu)}}{N \text{ total (3 gram kiambang + 250 ml limbah cair tahu)}} \\ C/N &= \frac{54 + 0,909}{3,375 + 0,0426} \\ &= 20,94 \end{aligned}$$

B. Menghitung Nilai TS Removal

$$\begin{aligned} TS \text{ Removal} &= \frac{TS \text{ Awal} - TS \text{ Akhir}}{TS \text{ Awal}} \times 100\% \\ TS \text{ Removal} &= \frac{3,17 \text{ gr} - 2,606 \text{ gr}}{3,17 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 17,768 \% \end{aligned}$$

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN

- A. Pengambilan Sampel Kiambang (*Salvinia Molesta*)** Pengambilan sampel dilakukan di area persawahan yang ada di Mandalawangi Pandeglang Banten.



- B. Pengeringan Sampel**



C. Preparasi Larutan H₂SO₄ (*pre-treatment*)



D. Pre-Treatment selama 2 hari



E. Bahan Yang Sudah Di Pre-Treatment Dan Sudah Dikeringkan



F. Bahan Limbah Cair Tahu



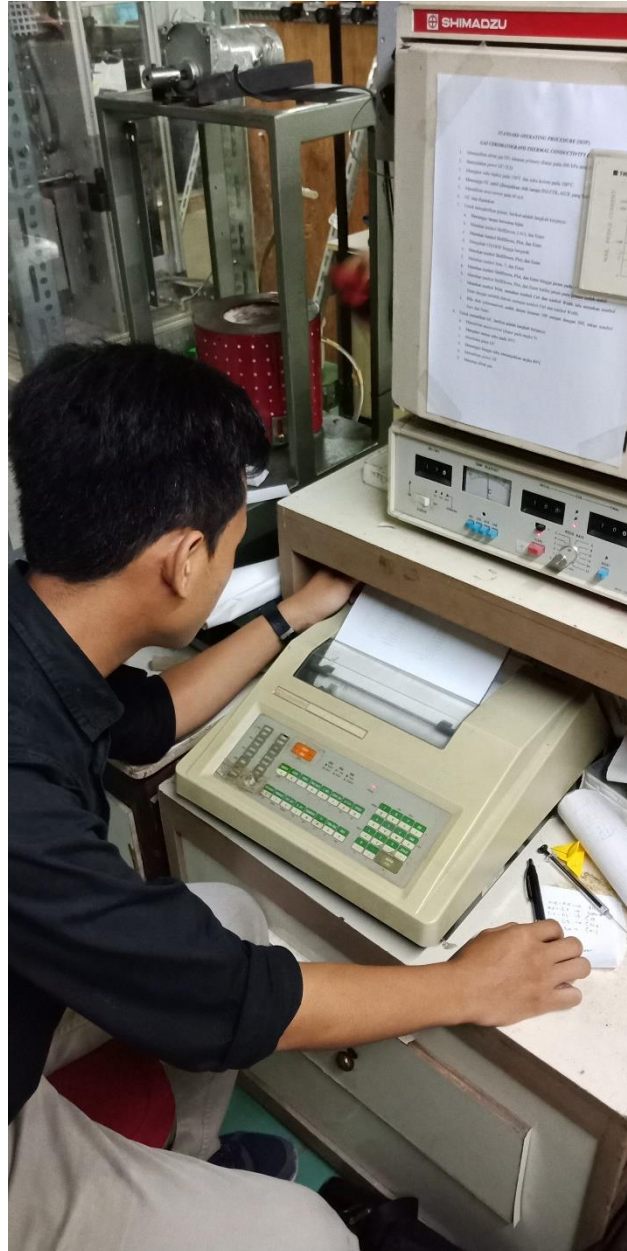
G. Bahan Baku Pembuatan Biogas yang Sudah Dimasukkan ke Dalam Botol Digester an-aerob



H. Pengukuran Volume Biogas



I. Analisa Kadar Metan (GC-TCD)



LAMPIRAN PERMODELAN KINETIKA BIOGAS

1. Variasi 0 gram pH 6

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	4.97	4.97	24.72	1298.57	964.96
3	7.99	7.36	-0.63	0.39	786.48	822.02
6	16.90	10.27	-6.63	43.90	366.33	663.86
9	23.29	13.61	-9.68	93.72	162.47	502.99
12	26.49	17.27	-9.22	84.96	91.20	352.21
15	27.86	21.13	-6.73	45.29	66.91	222.31
18	27.86	25.06	-2.80	7.84	66.91	120.56
21	27.86	28.95	1.09	1.19	66.91	50.23
24	27.86	32.71	4.86	23.58	66.91	11.05
27	29.68	36.28	6.59	43.48	40.37	0.06
30	31.51	39.60	8.09	65.39	20.49	12.67
33	43.38	42.64	-0.74	0.55	53.96	43.62
36	44.07	45.40	1.33	1.78	64.50	87.69
39	45.44	47.87	2.44	5.94	88.38	140.16
42	47.26	50.07	2.81	7.90	126.06	197.07
45	51.60	52.01	0.41	0.17	242.29	255.31
48	52.29	53.71	1.43	2.04	264.08	312.56
51	52.29	55.20	2.91	8.48	264.08	367.19
54	54.34	56.48	2.14	4.59	335.09	418.16
57	62.56	57.60	-4.96	24.64	703.59	464.90
60	62.56	58.56	-4.00	16.04	703.59	507.17

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	64.13015	1.311925	-1.098969	
R2, SE (y)	1.1084475	4.9115841	R^2	0.9138041
Variance	24.123658			
Average y	36.035614			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

2. Variasi 3 gram pH 6

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	19.79	19.79	391.78	5143.92	2696.48
3	25.60	23.21	-2.39	5.73	2127.28	2353.81
6	32.43	26.96	-5.47	29.89	1544.19	2003.72
9	42.66	31.05	-11.61	134.88	844.29	1654.08
12	45.47	35.48	-9.99	99.83	689.22	1313.68
15	47.91	40.22	-7.68	59.00	567.15	992.02
18	48.64	45.28	-3.36	11.26	532.85	699.03
21	49.37	50.63	1.26	1.59	499.62	444.82
24	49.37	56.25	6.88	47.35	499.62	239.36
27	50.59	62.12	11.53	132.94	446.61	92.22
30	54.00	68.21	14.21	201.87	314.00	12.33
33	63.27	74.50	11.23	126.17	71.50	7.71

36	79.23	80.96	1.72	2.97	56.44	85.30
39	92.89	87.56	-5.33	28.40	447.98	250.80
42	99.23	94.27	-4.95	24.53	756.49	508.58
45	104.35	101.07	-3.27	10.70	1064.33	861.63
48	107.88	107.94	0.06	0.00	1307.48	1311.50
51	109.83	114.83	5.00	24.99	1452.33	1858.38
54	119.83	121.73	1.91	3.63	2314.11	2501.13
57	134.82	128.62	-6.20	38.45	3981.44	3237.39
60	144.82	135.47	-9.35	87.37	5342.79	4063.68

	Nonlinear Regression				
	ym	U	A		
Coefficients	318.3285	2.301229	1.100957		
R2, SE (y)	0.9061434	8.3476319	R^2	0.9512266	
Variance	69.682958				
Average y	71.721155				
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$				

3. Variasi 5 gram pH 6

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	22.08	22.08	487.63	10615.06	6552.43
3	25.57	27.07	1.49	2.23	5999.21	5770.35
6	40.55	32.70	-7.85	61.62	3903.95	4946.48
9	48.08	38.97	-9.11	82.95	3019.35	4103.21
12	52.27	45.87	-6.39	40.84	2576.95	3266.66
15	54.40	53.37	-1.03	1.06	2364.36	2465.57
18	54.78	61.43	6.66	44.33	2328.32	1730.11
21	58.31	70.01	11.70	136.80	1999.76	1090.50
24	66.12	79.04	12.91	166.75	1362.11	575.70
27	86.02	88.46	2.44	5.94	289.16	212.23
30	102.86	98.22	-4.64	21.51	0.03	23.14
33	105.18	108.24	3.06	9.37	4.64	27.18
36	109.00	118.47	9.47	89.72	35.59	238.33
39	112.34	128.83	16.48	271.68	86.75	665.47
42	116.71	139.26	22.54	508.14	187.28	1312.39
45	138.38	149.70	11.31	128.03	1249.90	2177.98
48	166.10	160.10	-6.00	36.01	3977.55	3256.62
51	184.33	170.40	-13.93	193.93	6608.99	4538.67
54	198.00	180.56	-17.44	303.99	9018.66	6011.11
57	209.81	190.54	-19.27	371.20	11401.45	7658.18
60	211.20	200.30	-10.90	118.80	11701.30	9462.04

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	384.1658	3.482251	2.009972	
R2, SE (y)	0.8393755	12.115546	R²	0.9607978
Variance	146.78645			
Average y	103.02942			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

4. Variasi 7 gram pH 6

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	2.35	2.35	5.53	2406.31	2181.06
3	5.11	4.11	-1.00	1.01	1930.91	2020.07
6	10.98	6.62	-4.35	18.93	1449.96	1800.24
9	13.98	9.97	-4.01	16.08	1229.99	1527.31
12	19.02	14.16	-4.86	23.64	902.06	1217.77
15	20.75	19.11	-1.64	2.68	801.19	896.59
18	21.58	24.71	3.13	9.82	755.06	592.65
21	23.91	30.79	6.88	47.40	632.42	333.54
24	28.94	37.18	8.23	67.78	404.45	141.09
27	41.87	43.69	1.81	3.29	51.56	28.81
30	51.05	50.16	-0.88	0.78	3.96	1.22
33	61.42	56.46	-4.96	24.57	152.90	54.89
36	64.50	62.49	-2.02	4.06	238.63	180.41
39	70.67	68.15	-2.51	6.32	467.09	364.72
42	78.56	73.41	-5.15	26.51	870.59	593.24
45	79.84	78.24	-1.60	2.57	947.64	851.58
48	81.94	82.62	0.68	0.46	1081.67	1126.63
51	83.15	86.57	3.42	11.71	1162.24	1407.31
54	86.60	90.10	3.50	12.22	1409.98	1684.73
57	92.62	93.24	0.62	0.38	1897.81	1952.22
60	97.13	96.01	-1.12	1.25	2311.16	2205.10

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	114.359	2.174043	6.905455	
R2, SE (y)	1.0025382	3.6968395	R²	0.9864027
Variance	13.666622			
Average y	49.054157			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

5. Variasi 0 gram pH 7

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	13.34	13.34	177.89	2745.42	1525.64
3	15.75	15.86	0.11	0.01	1342.67	1334.95
6	24.20	18.66	-5.55	30.75	794.93	1138.36
9	31.51	21.73	-9.78	95.68	436.31	940.62

12	34.25	25.06	-9.18	84.36	329.36	747.10
15	35.39	28.66	-6.73	45.34	289.22	563.61
18	35.39	32.49	-2.90	8.40	289.22	396.19
21	35.39	36.55	1.16	1.36	289.22	250.98
24	35.39	40.82	5.43	29.53	289.22	133.93
27	35.62	45.28	9.66	93.35	281.51	50.65
30	35.62	49.90	14.28	203.95	281.51	6.24
33	35.85	54.66	18.81	353.90	273.90	5.12
36	38.36	59.53	21.18	448.40	197.08	50.94
39	46.58	64.50	17.92	321.19	33.86	146.48
42	61.88	69.53	7.66	58.62	89.85	293.62
45	76.95	74.61	-2.34	5.47	602.62	493.31
48	85.16	79.70	-5.46	29.83	1073.75	745.63
51	91.56	84.80	-6.76	45.71	1533.60	1049.78
54	99.32	89.87	-9.45	89.33	2201.88	1404.21
57	116.45	94.90	-21.54	464.12	4102.21	1806.67
60	116.45	99.88	-16.57	274.53	4102.21	2254.32

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	215.6635	1.699447	1.100959	
R2, SE (y)	0.7107811	11.673544	R^2	0.8673364
Variance	136.27163			
Average y	52.396799			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

6. Variasi 3 gram pH 7

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	13.67	13.67	186.99	5170.68	3391.06
3	19.63	17.19	-2.44	5.94	2733.38	2994.24
6	29.74	21.21	-8.53	72.75	1777.82	2569.83
9	34.50	25.75	-8.75	76.54	1399.52	2130.65
12	35.84	30.77	-5.06	25.64	1300.99	1691.94
15	36.69	36.26	-0.43	0.18	1240.16	1270.54
18	36.94	42.18	5.24	27.46	1223.05	883.97
21	37.18	48.47	11.29	127.41	1206.06	549.46
24	37.18	55.08	17.90	320.57	1206.06	283.04
27	38.52	61.97	23.45	549.87	1114.72	98.77
30	47.91	69.07	21.16	447.72	576.06	8.08
33	71.19	76.31	5.12	26.26	0.52	19.41
36	94.11	83.65	-10.45	109.23	492.76	137.99
39	102.76	91.03	-11.73	137.52	951.91	365.82
42	106.05	98.40	-7.65	58.55	1165.84	701.87
45	112.39	105.71	-6.68	44.68	1638.88	1142.36
48	119.34	112.91	-6.43	41.34	2249.73	1681.16
51	121.78	119.97	-1.80	3.26	2486.94	2310.24
54	128.72	126.86	-1.86	3.47	3228.23	3020.14
57	139.94	133.56	-6.38	40.76	4628.37	3800.42

60	144.08	140.03	-4.06	16.47	5209.48	4640.12
----	--------	--------	-------	-------	---------	---------

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	242.0413	2.461026	2.009998	
R2, SE (y)	0.8217109	10.516688	R^2	0.9433365
Variance	110.60073			
Average y	71.907433			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

7. Variasi 5 gram pH 7

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	10.46	10.46	109.50	3452.77	2332.52
3	18.79	13.36	-5.43	29.47	1597.95	2061.46
6	25.20	16.70	-8.50	72.29	1126.10	1769.04
9	30.78	20.49	-10.29	105.97	782.74	1464.73
12	32.64	24.70	-7.94	63.03	682.12	1159.84
15	33.29	29.32	-3.98	15.81	648.54	866.86
18	33.48	34.29	0.81	0.66	639.10	598.72
21	33.85	39.58	5.73	32.81	620.43	367.90
24	33.85	45.13	11.28	127.22	620.43	185.76
27	35.34	50.89	15.55	241.84	548.52	61.92
30	39.71	56.80	17.09	292.21	362.88	3.82
33	56.64	62.82	6.18	38.20	4.51	16.46
36	77.75	68.88	-8.87	78.71	360.52	102.33
39	87.98	74.93	-13.05	170.20	853.65	261.50
42	93.00	80.94	-12.06	145.46	1172.33	491.88
45	95.70	86.86	-8.84	78.13	1364.29	789.46
48	97.37	92.65	-4.72	22.25	1490.75	1148.73
51	98.11	98.30	0.18	0.03	1548.76	1563.03
54	101.28	103.76	2.48	6.17	1807.63	2024.95
57	104.62	109.03	4.40	19.38	2103.53	2526.68
60	107.69	114.08	6.39	40.79	2394.46	3060.31

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	186.019	2.021669	1.931404	
R2, SE (y)	0.9452445	8.9712027	R^2	0.9301065
Variance	80.482478			
Average y	58.760264			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

8. Variasi 7 gram pH 7

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	12.42	12.42	154.16	3523.96	2203.99
3	10.52	15.29	4.77	22.75	2385.17	1942.07
6	17.74	18.55	0.81	0.66	1732.32	1665.32
9	23.30	22.20	-1.11	1.23	1300.19	1381.42
12	24.36	26.21	1.85	3.42	1225.39	1099.37
15	25.11	30.57	5.46	29.81	1173.33	829.07
18	25.64	35.26	9.63	92.65	1137.55	580.91
21	26.31	40.25	13.94	194.30	1092.37	365.26
24	26.31	45.51	19.19	368.44	1092.37	191.99
27	27.29	50.99	23.70	561.74	1028.72	70.10
30	33.83	56.66	22.83	521.35	651.95	7.29
33	55.93	62.48	6.55	42.93	11.77	9.74
36	76.30	68.41	-7.89	62.27	287.02	81.91
39	86.08	74.41	-11.67	136.07	713.68	226.49
42	90.81	80.44	-10.37	107.55	989.16	444.38
45	93.14	86.47	-6.67	44.54	1141.18	734.80
48	95.70	92.46	-3.24	10.50	1320.40	1095.44
51	100.59	98.38	-2.20	4.85	1699.41	1522.64
54	108.03	104.21	-3.81	14.55	2368.42	2011.65
57	130.58	109.93	-20.65	426.61	5072.22	2556.82
60	140.51	115.50	-25.00	625.06	6584.16	3151.88

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	216.7376	2.01157	2.009968	
R2, SE (y)	0.6069569	12.77171	R^2	0.9061315
Variance	163.11657			
Average y	59.362967			
Model	$y = ym * EXP(-EXP(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

9. Variasi 0 gram pH 8

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	15.68	15.68	246.00	6150.85	3936.67
3	7.53	19.50	11.97	143.18	5025.77	3472.38
6	23.97	23.85	-0.13	0.02	2965.17	2979.02
9	31.51	28.72	-2.79	7.78	2201.36	2470.83
12	31.97	34.10	2.14	4.57	2158.72	1964.62
15	33.56	39.97	6.41	41.05	2012.76	1478.92
18	33.56	46.29	12.72	161.85	2012.76	1033.09
21	33.56	53.00	19.44	377.95	2012.76	646.32
24	33.56	60.08	26.51	702.94	2012.76	336.75
27	34.02	67.45	33.43	1117.38	1971.99	120.56
30	34.71	75.06	40.35	1628.49	1911.62	11.34
33	36.30	82.86	46.55	2167.06	1774.42	19.61
36	44.98	90.78	45.80	2097.31	1118.74	152.49
39	71.92	98.77	26.84	720.64	42.32	413.70

42	102.75	106.77	4.03	16.23	591.39	803.55
45	139.96	114.75	-25.21	635.71	3786.59	1319.28
48	156.40	122.65	-33.76	1139.41	6080.04	1955.36
51	162.11	130.43	-31.68	1003.84	7002.80	2703.92
54	174.90	138.05	-36.84	1357.40	9306.24	3555.25
57	187.91	145.50	-42.41	1798.98	11986.60	4498.24
60	187.91	152.73	-35.18	1237.68	11986.60	5520.88

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	275.5447	2.670071	2.009989	
R2, SE (y)	0.468336	28.120042	R^2	0.8017902
Variance	790.73674			
Average y	78.427375			
Model	$y = ym * EXP(-EXP(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

10. Variasi 3 gram pH 8

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	5.72	5.72	32.70	6682.34	5780.18
3	9.39	8.66	-0.72	0.52	5235.88	5341.21
6	22.06	12.54	-9.53	90.75	3561.94	4789.78
9	27.91	17.43	-10.49	110.03	2897.76	4137.10
12	30.72	23.36	-7.36	54.14	2603.77	3408.85
15	31.94	30.33	-1.61	2.60	2480.85	2643.99
18	32.55	38.26	5.71	32.61	2420.51	1891.18
21	36.45	47.05	10.60	112.41	2051.90	1203.77
24	46.08	56.57	10.49	109.99	1272.20	634.04
27	61.80	66.65	4.84	23.45	397.72	228.03
30	71.68	77.12	5.45	29.65	101.39	21.38
33	90.08	87.83	-2.26	5.09	69.51	36.98
36	107.15	98.60	-8.55	73.03	645.33	284.18
39	120.31	109.31	-11.01	121.19	1487.51	759.55
42	124.82	119.81	-5.02	25.16	1855.76	1448.73
45	131.41	130.00	-1.40	1.97	2466.22	2328.93
48	137.26	139.81	2.55	6.52	3081.61	3371.62
51	142.74	149.16	6.42	41.22	3720.71	4545.14
54	157.61	158.01	0.40	0.16	5756.15	5817.00
57	167.61	166.34	-1.27	1.62	7372.79	7155.69
60	172.36	174.11	1.75	3.06	8211.81	8531.99

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	252.3245	3.594064	8.56413	
R2, SE (y)	0.999777	6.4655702	R^2	0.9863625
Variance	41.803597			
Average y	81.745601			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

11. Variasi 5 gram pH 8

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	11.03	11.03	121.57	4497.22	3139.99
3	14.14	14.07	-0.07	0.01	2800.34	2808.10
6	22.05	17.62	-4.43	19.66	2025.84	2444.60
9	29.77	21.68	-8.09	65.51	1390.28	2059.39
12	33.78	26.25	-7.52	56.57	1107.92	1665.21
15	35.45	31.32	-4.13	17.03	999.23	1277.13
18	35.54	36.87	1.32	1.75	993.36	911.77
21	35.73	42.84	7.11	50.60	981.66	586.52
24	35.73	49.21	13.48	181.80	981.66	318.55
27	42.52	55.93	13.40	179.68	602.17	123.98
30	66.25	62.93	-3.32	11.02	0.66	17.08
33	80.67	70.16	-10.51	110.41	185.23	9.62
36	89.32	77.57	-11.75	138.10	495.65	110.49
39	91.74	85.10	-6.64	44.14	609.22	325.40
42	93.88	92.69	-1.19	1.42	719.44	656.83
45	96.77	100.29	3.52	12.41	882.50	1104.20
48	101.70	107.85	6.15	37.88	1199.81	1664.04
51	108.31	115.34	7.03	49.42	1701.11	2330.43
54	119.84	122.70	2.85	8.14	2785.97	3095.37
57	134.64	129.90	-4.73	22.41	4566.61	3949.25
60	139.38	136.93	-2.46	6.03	5230.48	4881.31

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	256.2719	2.534916	5.434945	
R2, SE (y)	0.9632559	7.3534981	R^2	0.9673282
Variance	54.073934			
Average y	67.061301			
Model	$y = ym * \text{EXP}(-\text{EXP}(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

12. Variasi 7 gram pH 8

t	y	y calc	y residual	y residual ^2	(y - yavg)^2	(ycalc - yavg)^2
0	0.00	11.15	11.15	124.39	3555.76	2350.03
3	10.98	14.07	3.09	9.58	2367.24	2075.69
6	18.57	17.42	-1.15	1.32	1686.04	1781.64
9	24.96	21.20	-3.76	14.13	1202.11	1476.90
12	25.94	25.39	-0.54	0.30	1135.29	1172.21
15	29.02	29.97	0.96	0.91	937.09	879.46
18	29.17	34.91	5.74	32.99	927.90	610.98
21	29.77	40.17	10.40	108.06	891.62	378.88
24	29.77	45.69	15.92	253.40	891.62	194.37
27	31.12	51.43	20.31	412.49	812.64	67.19
30	37.59	57.35	19.76	390.46	485.84	5.21
33	57.21	63.38	6.17	38.13	5.86	14.10
36	73.45	69.49	-3.96	15.65	190.93	97.25
39	84.35	75.62	-8.73	76.13	611.00	255.77
42	88.93	81.74	-7.20	51.83	858.74	488.64
45	93.75	87.79	-5.96	35.49	1163.87	792.89
48	97.13	93.75	-3.38	11.43	1406.14	1163.99
51	101.04	99.58	-1.46	2.12	1714.60	1596.07
54	111.04	105.26	-5.77	33.33	2642.60	2082.35
57	122.76	110.77	-11.99	143.82	3985.88	2615.43
60	127.73	116.09	-11.64	135.42	4637.00	3187.58

Nonlinear Regression				
	ym	U	A	
Coefficients	197.913	2.044423	2.009945	
R2, SE (y)	0.7252182	9.4903003	R^2	0.9410279
Variance	90.0658			
Average y	59.630183			
Model	$y = ym * EXP(-EXP(((U * 2.7183)/ym) * (A - t) + 1))$			

Laboratorium Pengujian
Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB
Analytical Laboratory

Department of Agroindustrial Technology IPB

Gedung Fateta Lt. 2, Kampus IPB Darmaga PO. Box 220 Bogor, 16002
Telp./Fax. (62-251) 8627830 – 8621974, e-mail : cdsapipb@indo.net.id



Nomor : 132/SP-TIN/04/18
Lampiran : 1 Lembar
Perihal : Laporan Hasil Uji Laboratorium

Kepada Yth :

Bpk. Iqbal syaichurrozi (UNTIRTA)

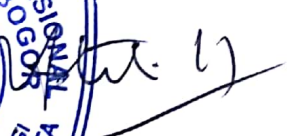
Di BKP Blok 1d No.5a Margatani Kramatwatu Serang Banten 42161

Berikut kami sampaikan laporan hasil uji laboratorium sampel **Air Limbah**,
Kode Sampel N2₁ s.d N2₂₅-AL/04/18

Atas perhatian dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.

Bogor, 03 Mei 2018




Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
Manajer Teknis I



Laboratorium Pengujian
Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB
DIVISI TEKNOLOGI DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM
RESULT OF LABORATORY ANALYSIS

No : 132/TIN/18

Lab. Sample ID : N2₁ s.d N2₂₅-AL/04/18

Jenis sampel : Air Limbah
Type of sample

Pengambil sampel : Bpk. Iqbal syaichurrozi
Sample taken by (UNTIRTA)

Tanggal pengambilan sampel : 20 April 2018
Date of sampling

Asal sampel : Bpk. Iqbal syaichurrozi
Sample origin (UNTIRTA)

Tanggal penerimaan sampel : 20 April 2018
Date of sample received

Alamat : BKP Blok 1d No.5a Margatani
Address Kramatwatu Serang Banten 42161

No	Kode lab	Sampel Id	Ammonium (mg/l)
			Hasil Pemeriksaan
1	N2 ₁	Rumen	111.38
2	N2 ₂	3A8	162.79
3	N2 ₃	7A8	108.53
4	N2 ₄	AB8	117.10
5	N2 ₅	7B8	131.38
6	N2 ₆	3A7	142.80
7	N2 ₇	7A7	94.25
8	N2 ₈	3B7	171.36
9	N2 ₉	7B7	108.53
10	N2 ₁₀	3A6	94.25
11	N2 ₁₁	7A6	102.82
12	N2 ₁₂	3B6	128.52
13	N2 ₁₃	7B6	128.52
14	N2 ₁₄	0A8	171.36
15	N2 ₁₅	5A8	99.96
16	N2 ₁₆	0B8	105.67
17	N2 ₁₇	5B8	171.36
18	N2 ₁₈	0A7	139.94
19	N2 ₁₉	5A7	114.24

Halaman : ½

Hasil pemeriksaan ini hanya berlaku untuk sampel-sampel di atas dan tidak boleh digandakan
This certificate is only valid for the above samples and cannot be duplicated



Laboratorium Pengujian
Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB
DIVISI TEKNOLOGI DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM
RESULT OF LABORATORY ANALYSIS

No : 132/TIN/18

Lab. Sample ID : N2₁ s.d N2₂₅-AL/04/18

No	Kode lab	Sampel Id	Ammonium (mg/l)
			Hasil Pemeriksaan
20	N2 ₂₀	0B7	154.22
21	N2 ₂₁	5B7	142.80
22	N2 ₂₂	0A6	79.97
23	N2 ₂₃	5A6	108.53
24	N2 ₂₄	0B6	102.82
25	N2 ₂₅	5B8	117.10

Ket : Metoda analisa : APHA ed. 22nd 4500-NH3 C, 2012



Bogor, 03 Mei 2018

Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
Manajer Teknis I

Halaman : 2/2



Laboratorium Pengujian
Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB

Analytical Laboratory
Department of Agroindustrial Technology IPB
Gedung Fateta Lt. 2, Kampus IPB Darmaga PO. Box 220 Bogor, 16002
Telp./Fax. (62-251) 8627830 - 8621974, e-mail: cdsapipb@indo.net.id



Nomor : 114/SP-TIN/09/18
Lampiran : 1 Lembar
Perihal : Laporan Hasil Uji Laboratorium

Kepada Yth :

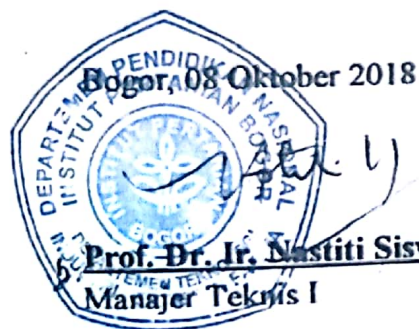
Bpk. Iqbal syaichurrozi (UNTIRTA)

Di BKP Blok 1d No.5a Margatani Kramatwatu Serang Banten 42161

Berikut kami sampaikan laporan hasil uji laboratorium sampel **Air Limbah**,

Kode Sampel O1 s.d O24-AL/09/18

Atas perhatian dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.



Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
Manajer Teknis I



HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM
RESULT OF LABORATORY ANALYSIS

No : 114/TIN/18

Lab. Sample ID : O1 s.d O24-AL/09/18

Jenis sampel : Air Limbah	Pengambil sampel : Bpk. Iqbal syaichurrozi
Type of sample	Sample taken by (UNTIRTA)
Tanggal pengambilan sampel : 26 September 2018	Asal sampel : Bpk. Iqbal syaichurrozi
Date of sampling	Sample origin (UNTIRTA)
Tanggal penerimaan sampel : 26 September 2018	Alamat : BKP Blok Id No.5a Margatani
Date of sample received	Address Kramatwatu Serang Banten 42161

No	Kode lab	Sampel Id	Ammonium (mg/l)
			Hasil Pemeriksaan
1	O1	0 6A	239.01
2	O2	0 6B	255.30
3	O3	0 7A	274.32
4	O4	0 7B	277.03
5	O5	0 8A	255.30
6	O6	0 8B	192.84
7	O7	3 6A	211.85
8	O8	3 6B	173.82
9	O9	3 7A	211.85
10	O10	3 7B	217.28
11	O11	3 8A	192.84
12	O12	3 8B	184.69
13	O13	5 6A	165.68
14	O14	5 6B	176.54
15	O15	5 7A	138.52
16	O16	5 7B	203.70
17	O17	5 8A	160.24
18	O18	5 8B	143.95
19	O19	7 6A	168.39

Hasil pemeriksaan ini hanya berlaku untuk sampel-sampel di atas dan tidak boleh digandakan
This certificate is only valid for the above samples and cannot be duplicated



Laboratorium Pengujian
Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB
DIVISI TEKNOLOGI DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM
RESULT OF LABORATORY ANALYSIS

No : 114/TIN/18

Lab. Sample ID : O1 s.d O24-AL/09/18

No	Kode lab	Kode Pelanggan	Ammonium (mg/l)
			Hasil Pemeriksaan
20	O20	7 6B	133.08
21	O21	7 7A	133.08
22	O22	7 7B	168.39
23	O23	7 8A	157.53
24	O24	7 8B	152.10

Ket : Metoda analisa Ammonium : APHA ed. 22nd 4500-NH3 C, 2012

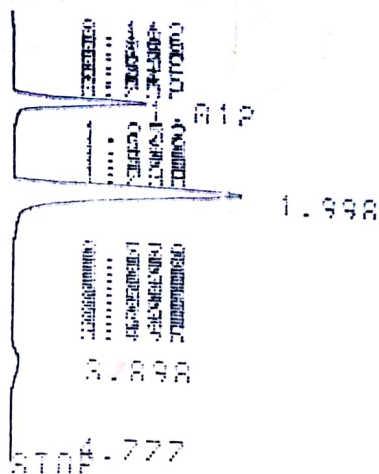


Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
Manajer Teknis I

Halaman : 2/2

Hasil pemeriksaan ini hanya berlaku untuk sampel-sampel di atas dan tidak boleh digandakan
This certificate is only valid for the above samples and cannot be duplicated

STOP
START



Ogrom
PH 6

Ogr PH 6

CHROMATOGRAPH C-66A
SAMPLE NO 8
REPORT NO 23

FILE 8
METHOD 41

XNO	TIME	AREA	PK	TEND	COND	NAME
1	0.112	129			A.0358	
2	0.19	129	V		A.0357	
3	0.298	102			A.0283	
4	0.352	119			A.0329	
5	0.452	137			A.038	
6	0.51	124			A.0343	
7	0.61	121			A.0335	
8	0.665	166			A.046	
9	0.752	124	V		A.0343	
10	1.012	88630	S		24.5649	
11	1.252	41	T		A.0114	
12	1.277	264	T		A.0733	
13	1.412	146	TV		A.0404	
14	1.498	109	TV		A.0303	
15	1.578	112	TV		A.0312	
16	1.658	113	T		A.0313	
17	1.738	120	TV		A.0331	
18	1.998	248477	SV		68.0684	
19	2.578	182	T		A.0506	
20	2.697	100	T		A.0276	
21	2.778	103	TV		A.0287	
22	2.858	113	T		A.0312	
23	2.938	123	TV		A.0342	
24	3.012	107	T		A.0297	
25	3.098	125	TV		A.0347	
26	3.178	129	TV		A.0359	
27	3.258	119	T		A.0331	
28	3.338	130	TV		A.0361	
29	3.412	100	TV		A.0277	
30	3.498	116	T		A.0322	
31	3.898	19925	TV		5.5223	
32	4.777	264	TV		A.0732	

START

1.437
2.698
2.477
2.935
3.335
3.95

STOP 4.935

Ogram
Ph 7

Ogr-Ph 7

CHROMATOGRAPH C-86A
SAMPLE NO 0
REPORT NO 04

FILE 0
METHOD 41

RKNO	TIME	AREA	NK	TONG	CONC	NAME
1	0.05	298			0.1112	
2	0.102	621	V		0.2314	
3	0.29	1007	V		0.3753	
4	0.348	378	V		0.1411	
5	0.51	1035	V		0.3859	
6	0.69	276	V		0.103	
7	0.748	212	V		0.0789	
8	1.067	143716	SV		53.5634	
9	1.437	128	T		0.0477	
10	2.698	92474	SV		34.4654	
11	2.477	171	T		0.0637	
12	2.935	301	T		0.1123	
13	3.335	325	T		0.1211	
14	3.95	27022	V		10.0713	
15	4.935	344	V		0.1283	
TOTAL		268311			100	

START

38r-PA8

Ogram
PH 8 ✓

CHROMATOPAC
C-RAA

2.87
3.27
3.915

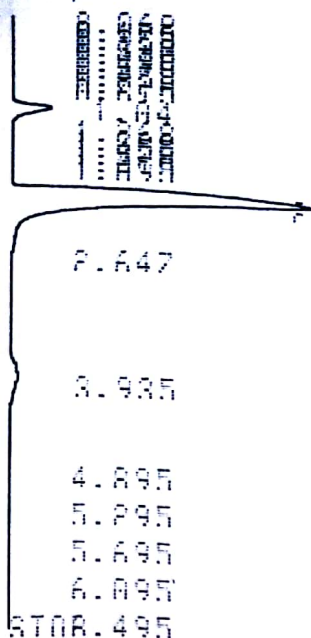
STOP

CHROMATOPAC C-RAA
SAMPLE NO A
REPORT NO 25

FILE
METHOD A 41

PKNO	TIME	AREA	HK	TONG	CONC	NAME
1	0.042	200				
2	0.15	756	V		0.0883	
3	0.202	575	V		0.334	
4	0.303	504	V		0.2542	
5	0.357	487	V		0.2228	
6	0.443	317	V		0.2153	
7	0.543	326	V		0.1401	
8	0.623	315	V		0.1442	
9	0.683	221	V		0.1391	
10	0.79	219	V		0.0975	
11	0.843	197	V		0.0966	
12	1.062	161319	SV		0.0871	
13	1.49	228	T		71.2901	
14	1.588	182	T		0.101	
15	1.67	122	TV		0.0805	
16	1.75	108	T		0.0539	
17	1.83	119	TV		0.0476	
18	2.108	32973	V		0.0526	
19	2.87	977	V		14.5712	
20	3.27	563	V		0.4312	
21	3.915	25578	V		0.2487	
					11.3034	
TOTAL		226286			100	

START



3gram
Ph 6

3 gr - PH 6

CHROMATOPAC C-66A
SAMPLE NO A
REPORT NO 19

FILE A
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	MK	TEND	COND	NAME
1	0.000	373			0.0000	
2	0.175	277	V		0.0073	
3	0.255	282	V		0.0085	
4	0.333	197	V		0.0479	
5	0.415	181	V		0.0439	
6	0.495	150	V		0.0363	
7	0.575	130			0.0316	
8	0.655	127	V		0.0309	
9	0.728	106			0.0258	
10	0.815	116			0.0281	
11	1.04	29955	SV		7.2707	
12	1.268	136	T		0.033	
13	1.368	166	T		0.0402	
14	1.455	136	TV		0.0331	
15	1.528	109			0.0265	
16	1.615	122			0.0296	
17	1.695	125	V		0.0304	
18	2	354045	S		85.9333	
19	2.647	96	T		0.0232	
20	3.935	24155	S		5.863	
21	4.895	67	T		0.0162	
22	5.295	260			0.0631	
23	5.695	264			0.0642	
24	6.095	264			0.064	
25	6.495	160			0.0389	
TOTAL					411999	

[illegible]

STOP

3 gr - pH 7

3 gram
Ph 7

FILE A
METHOD 44

XNO	TIME	AREA	MK	TEND	COND	NAME
1	0.03	167				
2	0.082	184	V		0.0386	
3	0.117	202	V		0.0425	
4	0.168	431	V		0.0468	
5	0.25	367	V		0.0996	
6	0.35	352	V		0.0849	
7	0.43	311	V		0.0813	
8	0.482	288	V		0.072	
9	0.59	290	V		0.0671	
10	0.642	227	V		0.0525	
11	0.81	428	V		0.0986	
12	1.057	21864	SV		5.0533	
13	1.395	153	T		0.0355	
14	1.475	159	TV		0.0368	
15	1.61	519	TV		0.12	
16	1.797	156	TV		0.0359	
17	2.008	382681	S		88.4459	
18	2.637	43	T		0.0099	
19	2.755	293	TV		0.0676	
20	2.83	141	TV		0.0326	
21	2.99	291	TV		0.0673	
22	3.075	149	TV		0.0345	
23	3.21	444	TV		0.1025	
24	3.29	238	T		0.0551	
25	3.37	258	TV		0.0595	
26	3.45	234	TV		0.0541	
27	3.617	600	T		0.1386	
28	3.95	21202	TV		4.9002	

TOTAL 432672

100

CONFIDENTIAL

3 gram ✓
Ph 8

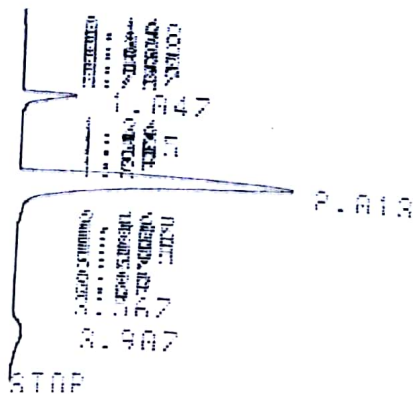
~~M-3-8~~
3 gr - pH 8

CHROMATOPAC C-66A
SAMPLE NO A
REPORT NO 21

FILE A
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	MK	TINO	CONC	NAME
1	0.112	417			0.094	
2	0.218	292	V		0.0657	
3	0.297	272	V		0.0612	
4	0.35	228	V		0.0514	
5	0.512	349	V		0.0786	
6	0.617	176	V		0.0396	
7	0.697	148			0.0315	
8	0.75	152	V		0.0343	
9	1.057	28797	V		6.4892	
10	2.005	391508	V		88.2244	
11	3.892	21434			4.8301	
TOTAL		443764			100	

START



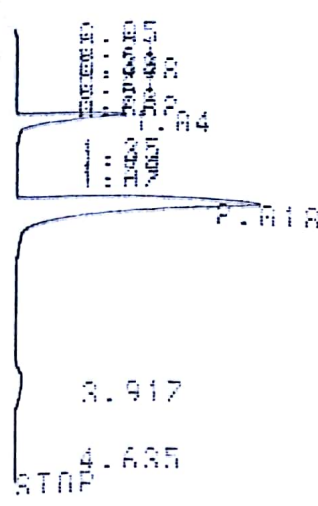
5 gram
Ph 6

CHROMATOPAC C-66A
SAMPLE NO A
REPORT NO 26

FILE
METHOD A 41

PKNO	TIME	AREA	HK	TONG	CONC	NAME
1	0.14	365				
2	0.198	288	V		0.1474	
3	0.3	294	V		0.0751	
4	0.38	264	V		0.0766	
5	0.432	221	V		0.0687	
6	0.547	220	V		0.0576	
7	0.598	171	V		0.0574	
8	0.707	163	V		0.0446	
9	0.76	145	V		0.0425	
10	1.047	37274	S		0.0377	
11	1.34	123	T		0.7193	
12	1.42	113	T		0.0321	
13	1.505	169	TV		0.0296	
14	1.56	202	TV		0.0441	
15	1.64	214	T		0.0526	
16	1.72	206	TV		0.0557	
17	1.8	33	T		0.0537	
18	2.013	315008	SV		0.0085	
19	2.46	59	T		0.1608	
20	2.587	38	T		0.0154	
21	2.705	246	TV		0.0099	
22	2.78	129	TV		0.0064	
23	2.865	116	T		0.0335	
24	2.945	125	T		0.0304	
25	3.02	139	TV		0.0327	
26	3.16	420	TV		0.0363	
27	3.24	231	T		0.1095	
28	3.32	258	TV		0.0603	
29	3.4	233	TV		0.0672	
30	3.567	513	T		0.0608	
31	3.907	25243	TV		0.1339	
					6.5823	
TOTAL					383502	
					100	

START



5gr - pH 7

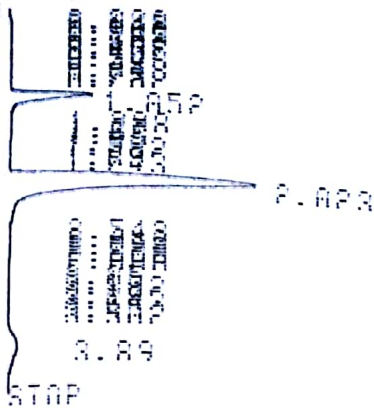
5gram
pH 7

CHROMATOGRAPH C-RAA
SAMPLE NO A
REPORT NO 17

FILE A
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	HK	TOTNO	CONC	NAME
1	0.05	288			0.0747	
2	0.21	725	V		0.1932	
3	0.39	173	V		0.0462	
4	0.448	153			0.0409	
5	0.61	439	V		0.1172	
6	0.79	153			0.0409	
7	0.862	145			0.0387	
8	1.04	69705	SV		18.5857	
9	1.35	166	T		0.0443	
10	1.43	102	TV		0.0271	
11	1.59	262	T		0.0699	
12	1.67	113	T		0.0302	
13	2.018	279488	V		74.5208	
14	3.917	23141	SV		6.1701	
TOTAL					375047	
					100	

START



7gr - Ph 6

7gram
Ph 6

CHROMATOGRAPH C-RAA
SAMPLE NO A
REPORT NO 14

FILE METHOD A 41

PKNO	TIME	AREA	NK	TEND	CONC	NAME
1	0.088	507				
2	0.142	398	V		0.1375	
3	0.243	341	V		0.1082	
4	0.302	333	V		0.0927	
5	0.402	287	V		0.0904	
6	0.457	290	V		0.0778	
7	0.543	187	V		0.0787	
8	0.643	194	V		0.0507	
9	0.73	185	V		0.0527	
10	0.782	150	V		0.0501	
11	1.052	54789	V		0.0406	
12	1.288	1211	V		14.8767	
13	1.37	669	V		0.3288	
14	1.45	506	V		0.1816	
15	1.53	611	V		0.1374	
16	1.582	173	V		0.1659	
17	1.69	171	V		0.0469	
18	1.743	149	V		0.0465	
19	2.023	279430	S		0.0404	
20	2.543	231	T		75.872	
21	2.643	140	T		0.0627	
22	2.728	131	TV		0.0381	
23	2.808	154	TV		0.0356	
24	2.888	435	TV		0.0418	
25	3.05	136	T		0.1181	
26	3.13	142	TV		0.037	
27	3.182	129	TV		0.0386	
28	3.29	143	TV		0.0351	
29	3.343	139	TV		0.0387	
30	3.45	139	T		0.0377	
31	3.502	125	T		0.0377	
32	3.89	25668	TV		0.0339	
TOTAL		368291			6.9694	

100

START

RECEIVED
DIRECTOR
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE
WASHINGTON, D.C. 20535

RECEIVED
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE
WASHINGTON, D.C. 20535

STOP

P. 117

7-7

7gram
PH7

CHROMATOPAC C-86A
SAMPLE NO 18
REPORT NO 16

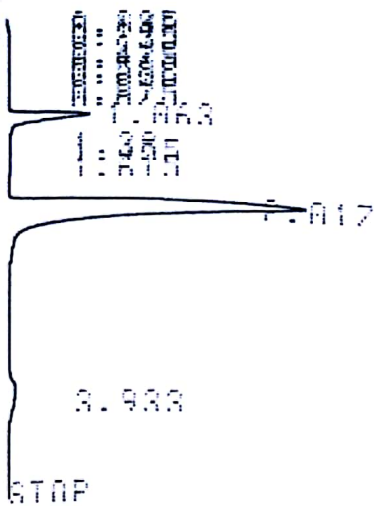
FILE
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	NK	TEND	CONC	NAME
1	0.117	939			0.2233	
2	0.168	542	V		0.1289	
3	0.257	442	V		0.105	
4	0.357	482	V		0.1146	
5	0.408	389	V		0.0926	
6	0.517	361	V		0.0858	
7	0.568	346	V		0.0822	
8	0.657	116	V		0.0277	
9	0.677	131	V		0.0312	
10	0.735	299	V		0.0712	
11	0.808	258	V		0.0614	
12	0.917	231	V		0.0548	
13	1.068	23306	3V		5.5423	
14	1.317	133	T		0.0315	
15	1.397	234	TV		0.0556	
16	1.448	72	T		0.0172	
17	1.557	105	T		0.0249	
18	1.608	147	T		0.035	
19	1.717	102	TV		0.0242	
20	1.768	111	T		0.0263	
21	2.017	362958	S		86.3153	
22	2.657	120	T		0.0284	
23	2.757	143	T		0.034	
24	2.817	156	TV		0.0371	
25	2.917	227	T		0.0541	
26	2.997	246	TV		0.0586	
27	3.157	814	TV		0.1936	
28	3.317	136	T		0.0324	
29	3.368	167	TV		0.0398	
30	3.457	63	TV		0.0149	
31	3.477	78	TV		0.0186	
32	3.557	176	T		0.0419	
33	3.61	97	TV		0.023	
34	3.923	26377	TV		6.2728	

100

TOTAL 420502

START



7gram - PH 8

7gram
PH 8

CHROMATOGRAPH C-86A
SAMPLE NO R
REPORT NO 15

FILE A
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	HK	TONG	CONC	NAME
1	0.095	565			0.1412	
2	0.148	588	V		0.1271	
3	0.235	589	V		0.1472	
4	0.415	301	V		0.0752	
5	0.475	229	V		0.0573	
6	0.582	229	V		0.0574	
7	0.635	196	V		0.049	
8	0.815	312	V		0.0781	
9	0.875	137			0.0343	
10	1.063	49560	SV		12.3895	
11	1.38	104	T		0.0259	
12	1.455	89	T		0.0223	
13	1.615	612	TV		0.1529	
14	2.017	322833	V		80.7057	
15	3.933	23749	V		5.937	
TOTAL		400012			100	