REKAYASA PROSES AKLIMATISASI BIOREAKTOR AKIBAT PERUBAHAN SUBSTRAT DARI THINSLOP KE VINNASE

(Tesis)

Oleh :

Julfi Restu Amelia

MAGISTER TEKNOLOGI AGROINDUSTRI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2012

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Cadangan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar energi semakin lama semakin terbatas dan harganya semakin mahal. Hal tersebut mendesak peneliti untuk mengembangkan bahan bakar energi yang ramah lingkungan berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Bioetanol merupakan salah satu bahan bakar nabati yang berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui seperti tetes tebu/molase, ubikayu, dan lain-lain. Industri etanol dan perkembangannya diarahkan untuk diversifikasi produk sebagai bahan bakar *biofuel*.

Industri bioetanol menghasilkan etanol dan menghasilkan air limbah. Etanol yang diproduksi akan menghasilkan air limbah sebesar 20 liter per liter etanol. Air limbah bioetanol pada umumnya mempunyai pH rendah, suhu tinggi, warna coklat kehitaman, dan tingginya kadar abu serta persentase bahan organik dan anorganik terlarut. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) memiliki kandungan berkisar 35.000-50.000 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar 100.000-150.000 mg/L (Kuiper *et al*., 2007).

Produksi bioetanol skala industri dengan sistem *multiple feedstock* biasanya menggunakan dua jenis bahan baku yaitu ubikayu dan *molasses*. Mesin produksi

dirancang mampu berproduksi dengan bahan baku yang berbeda. Dua jenis bahan baku tersebut digunakan untuk mengantisipasi berkurangnya ketersediaan bahan baku atau melonjaknya harga salah satu bahan baku sehingga pabrik dapat terus beroperasi untuk memenuhi permintaan pasar.

Air limbah bioetanol berbahan baku ubikayu disebut dengan *thinslop*. *Thinslop* merupakan limbah bioetanol yang memilki pH rendah sebesar 4,30-4,80 karena berasal dari tangki asidifikasi IPAL industri bioetanol yang banyak mengandung asam-asam organik *volatile* yang diproduksi oleh bakteri-bakteri pembentuk asam. *Thinslop* memiliki kandungan COD berkisar 35.000-50.000 ppm (Medco, 2007). Proses pembuatan biogas dari *thinslop* telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan *thinslop* yang masuk ke dalam reaktor dengan beban COD sebesar 35.000 kg/hari dengan penyisihan COD sebesar 88,3 %, menghasilkan potensi biogas sebesar 16.265,79 m^3/hari atau sebesar 5.937.013,3 m^3/tahun (Maryanti, 2011).

Air limbah yang ditimbulkan oleh industri bioetanol berbahan baku *molasses*s disebut dengan *vinasse*. *Vinasse* memiliki kandungan COD yang cukup tinggi. Etanol yang diproduksi akan menghasilkan air limbah berkisar 17-25 liter dengan kebutuhan oksigen kimia (COD) yaitu sebesar 80.000-100.000 mg/L (Ali, 2002).

Faktor yang sangat menentukan dalam proses pembentukan biogas salah satunya aktifitas bakteri. Konversi materi organik menjadi biogas merupakan hasil kerja berbagai bakteri yang bekerja. Penelitian yang dilakukan adalah melakukan

perubahan substrat untuk mendapatkan biogas yang optimal. Proses perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* akan menyebabkan terjadinya perubahan beban mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik. Hal tersebut akan mempengaruhi proses fermentasi dalam memproduksi metana. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian proses aklimatisasi perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* untuk mengoptimalkan produksi biogas.

B. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan karakterisasi efluen hasil rekayasa proses aklimatisasi.
2. Menentukan metode yang tepat untuk proses aklimatisasi akibat adanya perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinnase*.

C. Kerangka Pemikiran

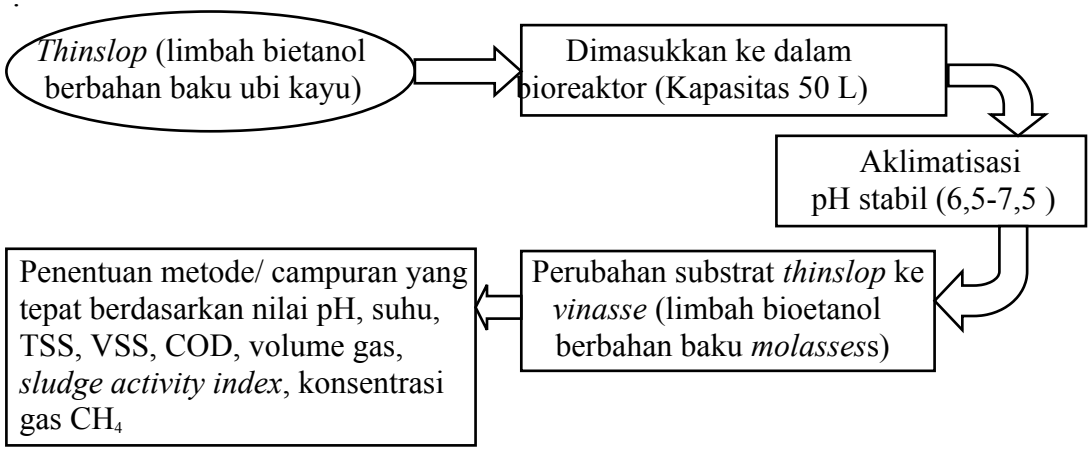
Industri bioetanol menggunakan dua jenis bahan baku dalam menghasilkan etanol. Bahan baku tersebut adalah ubikayu dan molasses. Dua jenis bahan baku tersebut digunakan untuk mengantisipasi harga salah satu bahan baku yang mahal. Harga ubikayu bulan Januari tahun 2012 berkisar Rp.810-Rp.825 per kg (IB Agro, 2012). Harga molasses tahun 2012 berkisar Rp. 600-Rp. 650. Data tersebut menjelaskan harga bahan baku ubikayu cenderung lebih mahal. Hal tersebut menyebabkan industri bioetanol mengalihkan bahan baku yang digunakan dari ubikayu ke molasses.

Dua jenis bahan baku yang digunakan dalam produksi bioetanol menyebabkan air limbah yang dihasilkan sangat banyak. Air limbah bietanol terdiri dari dua jenis, yaitu *thinslop* dan *vinasse*. Air limbah *thinslop* dihasilkan sebesar 146% dari bahan baku. Limbah *vinasse* dihasilkan sebesar 320% dari bahan baku. Limbah *vinasse* yang memiliki jumlah cukup banyak dan mengandung karbon organik yang cukup tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pada proses *anaerobic digestion* untuk produksi biogas. Proses pengolahan air limbah secara anaerobik dapat mengkonversi sebagian besar COD menjadi biogas. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi anaerob. Komponen biogas terdiri atas gas CH_4 (metana) sebesar 60 %, gas CO_2 (karbondioksida) sebesar 38 % dan sisanya berupa gas N_2, O_2, H_2, & H_2S. Salah satu sumber biogas adalah air limbah bioetanol.

Vinasse adalah cairan asam dengan pH 4-5 dan memiliki kandungan COD yang cukup tinggi yaitu sebesar 80.000-100.000 mg/L (Ali, 2002). Menurut Grady dan Lim (1990), bahwa satu mol metana memerlukan dua mol oksigen untuk dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air, sehingga setiap produksi 16 gram metana dapat menurunkan COD air limbah sebesar 64 gram. Satu kg COD akan menghasilkan 0,34-0,36 m^3 metana. Data tersebut menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki potensi yang cukup tinggi untuk menghasilkan biogas. Begitu pula dengan *thinslop*. *Thinslop* merupakan limbah bioetanol berbahan baku ubikayu yang berasal dari tangki acidifikasi IPAL industri bioetanol, yang memiliki kandungan COD sebesar 35.000-50.000 mg/L.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu melakukan perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* dalam bioreaktor. Hal tersebut tentu saja akan terjadi perubahan beban dalam mendekomposisi bahan organik, sehingga akan mempengaruhi proses fermentasi dalam memproduksi metana. Proses pengadaptasian terhadap substrat yang akan diberikan sangat diperlukan agar dapat digunakan sebagai inokulum yang baik dalam mendekomposisi bahan organik. Sketsa proses pengadaptasian terdapat pada Gambar 1.

.



Gambar 1. Proses pengadaptasian *thinslop* dan *vinasse* dalam bioreaktor

Proses pencampuran *vinasse* dengan *thinslop* diharapkan dapat mengoptimalkan produksi biogas oleh mikroorganisme yang secara alami terdapat dalam air limbah *thinslop* dan *vinasse*. Rekayasa proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan kedua bahan tersebut sehingga akan menghasilkan gas metana yang optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Potensi Ubikayu dan *Molasses*

Bioetanol dapat diproduksi dengan menggunakan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat. Proses produksi bioetanol dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Jenis tanaman yang berpotensi menghasilkan bioetanol adalah ubikayu. Ubikayu mempunyai prospek yang cukup baik untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan bakar nabati. Indonesia dapat memproduksi ubikayu sebesar Rp. 7.569.178 ton pada tahun 2009 (Badan Pusat Statistik, 2009). Hal tersebut menyebabkan perusahaan dan investor tertarik untuk mendirikan industri bioetanol.

Ubikayu merupakan tanaman yang dapat tumbuh pada berbagai agroekosistem yang setiap hektarnya mampu menghasilkan bioetanol dalam jumlah yang tinggi. Sistem agroindustri bioetanol menggambarkan satu hektar lahan tanaman ubikayu menghasilkan 20 ton ubikayu. Hasil tersebut dapat menghasilkan 3.332 liter bioetanol (BPPT, 2007 dalam Said, 2011). Provinsi Lampung berpeluang untuk investasi di sektor pertanian untuk industri bioetanol. Ubikayu sebagai bahan baku produksi bioetanol dinilai lebih ekonomis yang meliputi biaya pengelolaan tanaman, biaya produksi pengadaan bahan baku, dan biaya bahan baku untuk

memproduksi setiap liter etanol (Suyanto dan Wargiono, 2007 dalam Maryanti 2011). Tabel 1 menunjukkan potensi ubikayu dalam memproduksi bioetanol.

Tabel 1. Potensi ubikayu dalam produksi bioetanol

Kegiatan	Satuan	Tahun				
		2006	2007	2008	2009	2010
Etanol dari ubikayu	*Billion* liter	0,14	0,59	1,1	1,7	1,8
Produksi ubikayu untuk bioetanol	000 tons	895	3.820	7.150	10.920	11.700
Area tanam	000 ha	38,5	161	300	458	491

Sumber : GSI Report, 2008 dalam Murdiyatmo (2011)

Harga ubikayu di Lampung terkait dengan harga tepung tapioka internasional selalu naik dalam lima tahun terakhir. Harga ubikayu di Provinsi Lampung pada Tahun 2010 berkisar Rp.700-Rp.800/kg. Pada Tahun 2011 harga ubikayu berkisar Rp.800-Rp.900/kg. Ubikayu di Provinsi Lampung lebih rendah jika dibandingkan dengan kebutuhan dari pabrik tapioka dan pabrik bioetanol. Tekanan harga dan kontinyuitas persediaan menyebabkan pabrik bioetanol di Provinsi Lampung ada yg melakukan penggantian bahan baku dari ubikayu ke *molasses* (Murdiyatmo, 2011).

Bioetanol juga dapat diproduksi dengan menggunakan *molasses*. Indonesia memilik 61 buah pabrik gula (PG). Sebanyak 51 PG di bawah pengelolaan PTPN (PT.Perkebunan Nusantara) dan PT RNI (PT Rajawali Nusantara Indonesia), keduanya BUMN. *Molasses* selama ini sudah dimanfaatkan oleh industri penyedap/bumbu masak untuk menghasilkan *monosodium glutamate*. *Molasses* akan lebih menguntungkan apabila digunakan untuk memproduksi bahan bakar.

Potensi *molasses* cukup menjanjikan dalam ketersediaan bahan bakar nabati. Hal tersebut disebabkan *molasses* dihasilkan dari 4% umpan tebu. Apabila tebu yang dihasilkan sebesar 80 ton/ha, maka molasses yang diproduksi sebesar 3,6 ton/ha. Menurut Tabel dalam GSI Report per 2010 luas lahan tebu total 698.000 hektar, maka molasses yg dihasilkan = 698.000 x 3,6 ton = 2.512.800 ton/ha. Apabila semua dikonversi menjadi etanol maka akan dihasilkan sekitar 700.000.000 liter per hektar (Murdiyatmo, 2011). Tabel 2 menunjukkan data kebutuhan dan dan permintaan *molasses* tahun 2010 di Provinsi Lampung/Sumsel.

Tabel 2. Data kebutuhan dan permintaan *molasses* tahun 2010 di Provinsi Lampung/Sumsel

Provinsi	**Jumlah perusahaann gula/produsen molasses**	**Jumlah kebutuhan**	**Balance (+/-)**
Lampung/Sumsel	7 PG/ 387.611 ton	183.000 ton	surplus 204.611 ton

Sumber: Murdiyatmo (2011)

B. Bioetanol

Bioetanol adalah etanol atau etil alkohol dengan rumus kimia C_2H_5OH, berbentuk cair, bening tidak berwarna, *biodegradable*, dan tidak menyebabkan korosif. Bioetanol diproduksi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku hayati, atau bisa juga dengan fermentasi gula menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae.* Beberapa bakteri seperti *Zymomonas mobilis* diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan fermentasi untuk memproduksi etanol (Assadad, dkk., 2011).

Substrat yang umum digunakan untuk fermentasi adalah pati yang berasal dari jagung, gdanum, dan gula tebu (*molasses*). Substrat yang cukup mahal menyebabkan harga etanol sebagai bahan bakar pengganti minyak masih cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan 60% dari biaya yang digunakan dalam sistem produksi etanol adalah biaya substrat (Ingram dan Doran, 1995). Bioetanol yang dikembangkan di Indonesia adalah bioetanol generasi pertama. Bioetanol generasi pertama menggunakan substrat bahan nabati yang mengandung gula seperti *molasses* atau tetes tebu dan bahan nabati mengandung pati seperti ubikayu, ubi jalar atau jagung. Bahan baku digiling, dipanaskan, dan ditambahkan enzim untuk mengubah pati menjadi glukosa. Larutan glukosa yang dihasilkan ditambah ragi untuk mengubah glukosa menjadi etanol. Hidrolisis glukosa akan menghasilkan etanol dan karbondioksida. Perbandingan mol antara glukosa dan etanol dapat dilihat pada diagram reaksi berikut.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

Pengembangan bioetanol oleh Pemerintah Indonesia pada tahap awal difokuskan dari bahan baku ubikayu. Namun demikian, untuk pengembangan selanjutnya tidak menutup kemungkinan bahan baku lainnya yang lebih murah dan mudah dikembangkan seperti kelapa sawit, kelapa, jarak pagar, tebu, jagung, dan sagu. Banyak keuntungan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Penggunaan bahan bakar etanol tidak memberikan tambahan netto karbondioksida pada lingkungan karena gas CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran etanol diserap kembali oleh tumbuhan dan bantuan sinar matahari digunakan dalam proses fotosintesis.

Bahan bakar bioetanol memiliki nilai oktan tinggi sehingga dapat digunakan baik sebagai bahan peningkat oktan (*octane enhancer*) menggantikan penggunaan senyawa eter dan penggunaan logam berat seperti Pb sebagai *anti-knocking agent* yang memiliki dampak buruk terhadap lingkungan. Nilai oktan yang tinggi menyebabkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna dan emisi gas buang hasil pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor lebih baik (Wheals *et al*. 1999). Bioetanol bisa digunakan dalam bentuk murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar gasolin (bensin). Kelebihan etanol dibanding bensin yaitu etanol memiliki angka *research octane* 108,6 dan *motor octane* 89,7. Angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh gasolin yaitu *research octane* 88.

C. Proses Produksi Bioetanol

Teknologi proses produksi bioetanol dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi (Nurdyastuti, 2005). Proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim, setelah itu dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi.

1. Tahap Hidrolisis

Proses hidrolisis adalah proses konversi pati menjadi glukosa. Prinsip hidrolisis pati adalah pemutusan rantai polimer pati menjadi unit-unit dekstrosa ($C_6H_{12}O_6$). Pemutusan rantai polimer tersebut dapat dilakukan dengan cara enzimatis, kimiawi ataupun kombinasi keduanya. Hidrolisis secara enzimatis memiliki

perbedaan mendasar dibandingkan hidrolisis secara kimiawi dan fisik dalam hal spesifitas pemutusan rantai polimer pati. Hidrolisis secara kimiawi dan fisik akan memutus rantai polimer secara acak, sedangkan hidrolisis enzimatis akan memutus rantai polimer secara spesifik pada percabangan tertentu. Enzim yang digunakan pada tahap likuifikasi adalah alfa-amilase dan tahap sakarifikasi digunakan enzim glukoamilase (Musanif, 2008).

2. **Fermentasi**

Proses fermentasi dilakukan untuk mengkonversi glukosa (gula) menjadi etanol dan gas CO_2 dengan mengunakan *khamir*. Fermentasi etanol mengubah 1 mol gula menjadi 2 mol etanol dan 2 mol gas CO_2. Khamir yang sering digunakan dalam fermentasi alkohol adalah *Saccharomyces cerevisiae*. Khamir tersebut digunakan karena berproduksi tinggi, toleran terhadap alkohol yang cukup tinggi (12-18% v/v), tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32^{o}C. Khamir akan melakukan metabolisme glukosa dan fruktosa membentuk asam piruvat melalui tahapan reaksi pada jalur *Embden-Meyerhof-Parnas*, sedangkan asam piruvat yang dihasilkan akan didekarboksilasi menjadi asetaldehida yang kemudian mengalami dehidrogenasi menjadi etanol (Amerine *et al*., 1987 dalam Musanif, 2008). Etanol yang dihasilkan pada proses fermentasi perlu ditingkatkan kualitasnya dengan membersihkannya dari zat-zat yang tidak diperlukan seperti gas CO_2 dan aldehid. Gas CO_2 pada hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35 persen volume. Proses pembersihan (*washing*) gas CO_2 dilakukan dengan menyaring etanol/bioetanol yang terikat oleh gas CO_2, sehingga dapat diperoleh etanol/bioetanol yang bersih dari gas CO_2. Hasil

fermentasi tersebut adalah bioetanol atau alkohol yang mempunyai kemurnian sekitar 30-40% dan belum dapat dikategorikan sebagai *fuel based etanol*. Agar dapat mencapai kemurnian diatas 95%, maka akohol hasil fermentasi harus melalui proses destilasi.

3. **Destilasi**

Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan proses destilasi untuk memisahkan etanol. Destilasi merupakan pemisahan komponen berdasarkan titik didihnya. Titik didih etanol murni adalah 78^{o}C, sedangkan air adalah 100^{o}C (kondisi stdanar). Pemanasan larutan hasil fermentasi pada suhu rentang 78-100^{o}C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi akan bisa dihasilkan etanol dengan konsentrasi 95 % volume. Dua tipe proses destilasi yang banyak diaplikasikan, yaitu *continuous-feed distillation column system* dan *pot-type distillation system.* Selain tipe tersebut, dikenal juga tipe destilasi vakum yang menggunakan tekanan rendah dan suhu yang lebih rendah untuk menghasilkan konsentrasi alkohol yang lebih tinggi. Tekanan yang digunakan untuk destilasi adalah 42 mmHg atau 0.88 psi dan suhu yang digunakan pada bagian bawah kolom adalah 35^{o}C dan 20^{o}C di bagian atas.

D. Produksi Bioetanol di PT Medco Etanol Lampung

Produksi bioetanol di PT Medco Etanol Lampung menggunakan dua jenis bahan baku, yaiu ubikayu dan *molasses*. Secara umum, produksi bioetanol mencakup tiga rangkaian proses, yaitu persiapan bahan baku (ubikayu), fermentasi, dan destilasi. Tahapan proses pembuatan bioetanol dimulai dari persiapan bahan baku.

Bahan baku ubikayu sebanyak 1.167 MT/hari diolah di bagian *pretreatment.* Bahan mentah ubikayu pertama-tama ditimbang dengan menggunakan *wighing bridge*, selanjutkan dimasukan ke dalam *truck unloader* untuk kemudian dilakukan *pretreatment* terhadap ubikayu tersebut. Proses *pretreatment* dilakukan dengan penambahan air sebanyak 813 m^3 dan selanjutnya akan didapat bubur ubikayu yang ditampung pada *cassava slury tank*. Adapun jumlah bubur ubikayu yang didapat jumlahnya mencapai 1.924 m^3 ton per hari. Proses *pretreatment* akan menghasilkan cangkang hasil pengelupasan kulit. Bubur ubikayu selanjutnya akan masuk ke area proses utama untuk dilakukan proses likuifikasi. Proses likuifikasi merupakan proses dimana pati ubikayu yang merupakan polimer glukosa yang panjang (polisakarida) dipotong-potong secara acak, sehingga menjadi potongan-potongan oligisakarida. Enzim amilase akan ditambahkan untuk mempercepat proses pembentukan oligosakarida. Tahapan selanjutnya adalah pre fermentasi.

Proses pre fermentasi merupakan proses pencampuran bahan, enzim, dan nutrien terutama unsur N, agar proses fermentasi berjalan cepat dan sekaligus menambahkan nutrisi untuk kebutuhan bakteri pengurai, sehingga proses pre fermentasi dapat berjalan cepat. Proses pre fermentasi akan menghasilkan glukosa. Kegiatan berikutnya yang akan dilakukan adalah proses fermentasi. Proses fermentasi merupakan proses penambahan ragi *Sacharomyces cerevicae*, dengan tujuan agar proses fermentasi dapat berjalan cepat. Proses fermentasi ini akan menghasilkan gas CO_2. Tahapan selanjutnya dilakukan proses destilasi dan dekantasi. Proses produksi bioetanol PT Medco di Lampung dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Proses produksi bioetanol PT Medco di Lampung

Bioetanol dapat diproduksi menggunakan bahan baku *molasses* atau tetes tebu. *Molasses* mengandung kurang lebih 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa. Kedua bahan polysakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol. Potensi produksi *molasses* ini per ha kurang lebih 10-15 ton, Jika seluruh *molasses* per ha ini diolah menjadi etanol (*fuel grade ethanol*), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1,148 liter/ha FGE. Produksi bioetanol berbahan baku *molasses* layak diusahakan karena tingkat keuntungan mencapai 24% (Gusmailina, 2010).

Produksi bioetanol berbahan baku *molasses* tidak perlu melalui proses *pretreatment* dan *liquifikasi*. Proses dimulai dari tahap fermentasi,destilasi, dan dekantasi. Secara garis besar, perbedaan proses produksi etanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan *molasses* disajikan pada Tabel 3. Unit peralatan yang dipakai pada pabrik etanol dengan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan *molasses* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Perbedaan proses produksi etanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan *molasses*

Proses	**Etanol dari ubikayu**	**Etanol dari *molasses***
Pretreatment	Ubikayu menjadi bubur ubi kayudengan kadar TS 15%	-
Liquifikasi	Pemasakan bubur menjadi larutan dekstrin (butuh uap air)	-
Sakarifikasi	Perubahan dekstrin menjadi gula	-
Fermentasi	Proses fermentasi terjadi secara simultan dengan sakarifikasi membutuhkan waktu 60-70 jam	Proses fermentasi terjadi secara spontan, membutuhkan waktu 60-70 jam

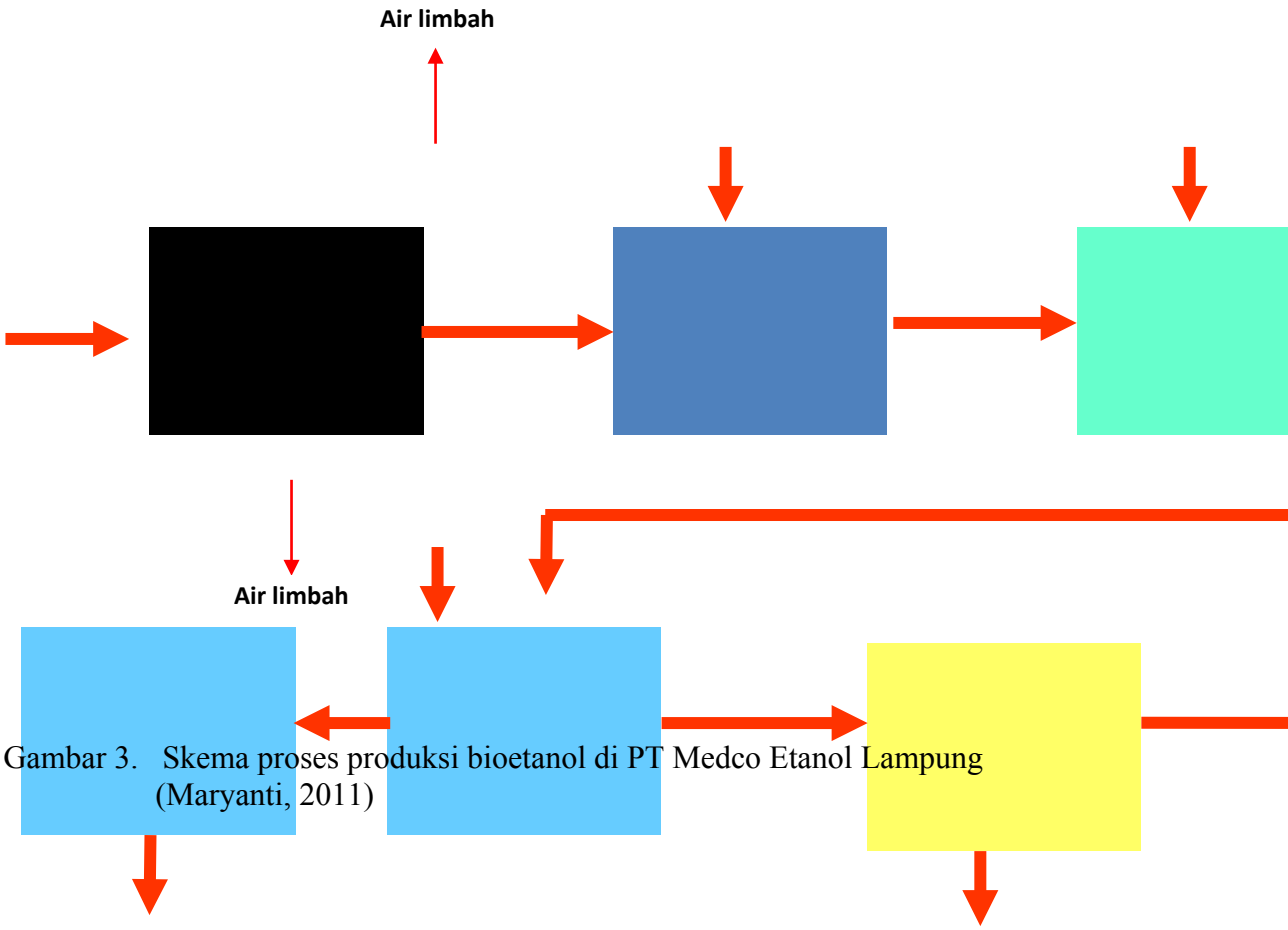
Sumber: Supriyanto (2007)

Tabel 4. Unit peralatan yang dipakai pada pabrik etanol dengan bahan baku ubikayu dibanding dengan menggunakan *molasses*

Peralatan	Bahan baku ubikayu	Bahan baku *molasses*
Unit pretreatment	Ada	Tidak ada
Unit liquifikasi	Ada	Tidak ada
Unit sakarifikasi	Ada	Tidak ada
Unit fermentasi	Jumlah fermentor 1,5 kali lebih banyak	Jumlahnya lebih sedikit
Unit destilasi	Ada	Ada
Unit dekantasi	Ada	Tidak ada
Tanki *molasses*	Tidak ada	Ada

Sumber: Supriyanto (2007)

PT Medco Etanol Lampung menggunakan sistem *multiple feedstock*. Sistem ini mennggunakan dua bahan baku, sehingga mesin dirancang agar bisa digunakan dengan penggunaan bahan baku yang berbeda. Gambar 3 memperlihatkan skema proses produksi bioetanol secara lengkap di PT Medco Etanol Lampung.



Gambar 3. Skema proses produksi bioetanol di PT Medco Etanol Lampung (Maryanti, 2011)

E. Air Limbah Industri Bioetanol

Industri bioetanol dalam produksinya menghasilkan limbah. Salah satu masalah industri tersebut antara lain adalah pengelolaan limbah. Semakin besar industrin akan semakin besar pula limbah yang dihasilkan. Masalah pengelolaan dan pemanfaatan limbah industri etanol tersebut perlu mendapatkan perhatian untuk mengantisipasi masalah limbah etanol di masa depan. Pengelolaan dan pemanfaatan limbah yang kurang tepat dapat merusak lingkungan. Pengendalian terhadap kegiatan yang berpotensi menimbulkan pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup perlu dilakukan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup. Upaya pengendalian pencemaran tersebut salah satunya adalah dengan mewajibkan pelaku usaha pengolahan hasil pertanian untuk melakukan pengelolaan dan pengolahan air limbah yang dihasilkannya. Instrumen pengendali pencemaran air oleh pelaku usaha yang banyak diterapkan adalah dengan baku mutu air limbah. Setiap pelaku usaha harus mematuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan untuk kegiatan/usahanya tersebut. Spesifikasi baku mutu air limbah industri bioetanol didasarkan pada Peraturan Gubernur Lampung No.7 Tahun 2010 (Tabel 5).

Tabel 5. Baku Mutu Air Limbah Industri Bioetanol

Parameter	**Batasan Kadar dan Debit Buangan Air Limbah (mg/L)**
BOD_5	100
COD	200
pH	6,0-9,0
H_2S	0,5
Debit Limbah Maksimal	15 m^3 per ton produk etanol

Sumber : Peraturan Gubernur Lampung No.7 Tahun 2010

1. Limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu *(thinslop)*

Industri etanol dengan bahan baku ubikayu akan menghasilkan limbah padat dan air limbah. Limbah padat yang keluar dari proses antara lain kulit, tanah dari proses pretreatment ubikayu dan ampas dari hasil proses dekantasi. Karakteristik limbah sangat bervariasi tergantung pada ketersediaan bahan baku dan lokasi. Air pencuci yang digunakan untuk mencuci fermentor dan air pendingin *blower* berkontribusi dalam keragaman limbah (Wilkie *et al*., 2000, Sheehan dan Greenfield, 1980, Pant dan Adholeya, 2007). Air limbah secara umum mempunyai pH rendah, suhu tinggi, warna cokelat gelap, kandungan abu dan persentase bahan organik dan anorganik tak larut.

Penelitian industri bioetanol dari ubikayu di Asia Tenggara menemukan keragaman yang tinggi pada air limbah dengan COD berkisar 40.000 mg/L, kandungan komponen organik total berkisar 100.000-150.000 mg/L, total padatan terlarut berkisar 6.000-30.000 mg/L. Kadar sulfat pada air limbah cenderung tinggi, berkisar 2.000-7.000 mg/L. Hal tersebut dikarenakan penggunaan asam sulfat selama proses produksi (Kuiper *et al*., 2007). Karakteristik air limbah yang ditimbulkan oleh suatu pabrik pengolahan secara kuantitas maupun kualitasnya dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan serta proses pengolahan yang diterapkan termasuk di industri bioetanol. Karakteristik limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu

Jenis Limbah	Keterangan
Padat	Kulit,tanah,menir Sludge/ampas
Cair	BOD : 25.000-35.000 ppm COD : 35.000 -50.000 ppm Total solid : 5-6 % Debit : 1.300 m^3/hari

Sumber : Medco Etanol Lampung (2007)

2. Limbah industri bioetanol berbahan baku *molasses (Vinasse)*

Industri bioetanol yang berbahan baku *molasses* hanya menghasilkan air limbah saja. Air limbah yang ditimbulkan oleh industri bioetanol bebrbahan baku *molasses* disebut juga sebagai *vinasse.* *Vinasse* adalah produk sampingan dari penyulingan alkohol selama produksi. Jumlah air limbah *vinasse* memiliki jumlah lebih banyak jika dibdaningkan dengan *thinslop*. Jumlah air limbah *vinasse* sekitar 320% dari bahan baku. Jumlah air limbah *thinslop* sekitar 146% dari bahan baku. Hal tersebut dikarenakan air yang dibutuhkan pada proses menggunakan bahan *molasses* lebih banyak dibanding dengan menggunakan ubikayu. *Molasses* memiliki derajat brix 25, sedangkan *molasses* dari pabrik tebu biasanya memiliki derajat brix sekitar 83, jadi diperlukan air dalam jumlah cukup banyak untuk mengencerkannya.

Vinasse mempunyai kandungan COD hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dari *thinslop*. Hal tersebut menyebabkan *vinasse* mempunyai potensi menghasilkan biogas yang lebih besar pada pengolahan secara anaerob. Pengolahan *vinasse* secara biologis (anaerobik dan aerobik) menghasilkan COD

effluen akhir masih tetap tinggi dan belum memenuhi baku mutu limbah buangan. *Thinslop* lebih mudah diolah secara biologis karena memiliki COD dan BOD lebih rendah Supriyanto (2007). Perbandingan spesifikasi limbah industri bioetanol dari *thinslop* dan *vinnase* terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7. Spesifikasi limbah industri etanol dari bahan baku ubikayu dan *molasses*.

Jenis Limbah	Parameter	Jumlah kandungan
Limbah padat	Kulit, tanah	-
	Sludge	-
Air limbah *thinslop**	BOD	25.000 - 35.000 ppm
	COD	35.000 - 50.000 ppm
	Padatan total	5 -6 %
Air limbah *vinasse***	BOD	40.000 - 60.000 ppm
	COD	80.000 - 100.000 ppm
	Padatan total	10-12 %

Sumber: Chaikut *et al.* (1991)* dan Shaukat Ali (2002)**
dalam Supriyanto (2007).

Vinasse merupakan residu yang sangat korosif dan kontaminan pada sumber air. *Vinasse* terdiri dari bahan organik dalam jumlah yang tinggi, potassium, kalsium, dan jumlah nitrogen dan fosfor yang cukup banyak. Menurut Hendroko (2009), vinasse merupakan cairan hitam yang tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan, karena banyaknya kandungan senyawa kimia (hidrogen sulfida) yang beracun menyebabkan COD lebih dari 50.000 ppm dan nilai BOD lebih dari 30.000 ppm.. Produksi rata-rata *vinasse* dalam penyulingan tebu sekitar 12 galon *vinasse* per galon etanol, yang merupakan volume besar untuk pembuangan air limbah. Sebuah penyulingan dengan produksi harian 110.000 galon etanol setara dengan produksi air limbah sebuah kota dengan populasi sekitar 768.000 orang ketika dievaluasi dalam per kapita (Baez dan Smith, 2006). Peneliti (Cortez dan Pérez, 1997; Menezes, 1980; Paturau, 1969) melaporkan masalah pembuangan

vinasse yang tepat sangat sulit, Hal tersebut dikarenakan bahwa sebagian besar peraturan lingkungan di seluruh dunia mempunyai batas BOD dalam pembuangan air limbah berkisar 30-100 mg/L (Corbitt, 1989).

Vinasse merupakan campuran air, senyawa organik dan anorganik (Cortez dan Pérez, 1997). Campuran tergantung pada bahan baku yang digunakan dalam proses fermentasi alkohol. Suhu *vinasse* berkisar 65 ºC-105 °C (149-221 ° F). *Vinasse* berwarna cokelat terang dengan total solid berkisar 20.000-40.000 mg/L ketika diperoleh langsung dari jus tebu (*sugarcane juice*), *Vinasse* yang diperoleh dari tetes tebu mempunyai warna hitam-kemerahan dengan total solid berkisar 50.000-100.000 mg/L. *Vinasse* merupakan cairan asam dengan pH 4-5 dan memiliki kandungan COD yang cukup tinggi yaitu 20.000-60.000 mg/L. Kandungan *vinasse* secara umum terdapat pada tabel 8.

Tabel 8. Kandungan *vinasse* secara umum

Komponen	**Jumlah**	
	mg/L	**Lb/cu ft**
pH	4-5	4-5
BOD	17.000-50.000	1,06-3,12
COD	20.000-60.000	1,25-3,75
Total solids	30.000-70.000	1,87-4,37
Total nitrogen	300-800	0,01-0,05
Total phosphorus	100-500	0,01-0,03
Total potassium (K2O)	2.000-3.000	0,12-0,19
Ash	3.000-10.000	0,19-0,62

Sumber : Cortez dan Perez (1997)

F. Proses Anaerobik dalam Pengelolaan Air Limbah

Air limbah memiliki nilai kebutuhan oksigen kimia (COD) yang cukup tinggi berkisar 13.500-22.000 mg/L (Manik, 1994 dalam Romaito, 2010). Penurunan nilai COD yang cukup tinggi diperlukan waktu yang cukup lama dalam pengolahannya. Limbah dengan kandungan bahan-bahan organik dalam konsentrasi tinggi merupakan limbah yang sesuai untuk diproses dalam sistem fermentasi anaerobik (Jenie dan Rahayu, 1993), Pengolahan air limbah secara anaerobik pada dasarnya merupakan penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen dan menghasilkan biogas sebagai produk akhir. Biogas yang dihasilkan mengandung 50-80% gas metana, 20-50% gas karbondioksida, beberapa gas dalam jumlah kecil, cairan dan residu padat (Zhang *et al.,* 1997 dalam Firdaus, 2005). Menurut Hessami *et al*., (1996) dalam Firdaus (2005), biogas mengandung sekitar 60% metana dan 40% karbondioksida.

Efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi suhu, derajat keasaman (pH), konsentrasi asam-asam lemak volatil, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat racun, waktu retensi hidrolik, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi amonia (Hermawan *et al.,* 2007). Parameter tersebut harus dikontrol dengan cermat supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Derajat keasaman (pH) harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 7-7,2. Hal tersebut disebabkan apabila pH turun akan menyebabkan pengubahan substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah gas CO_2

sebagai produk utama (Hermawan *et al*., 2007). Kondisi optimum produksi biogas terdapat pada tabel 9.

Tabel 9**.** Kondisi optimum produksi biogas

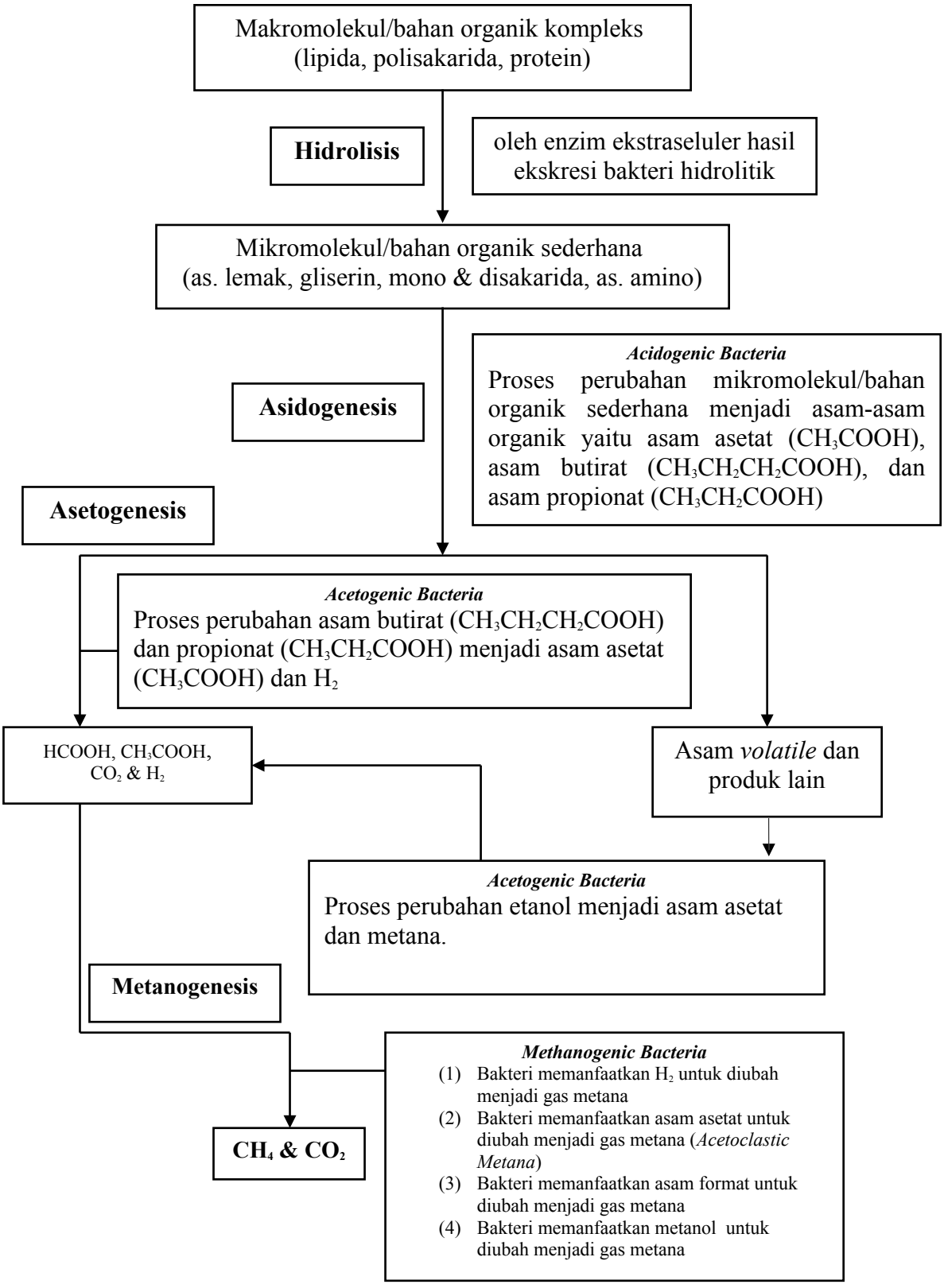
Parameter	**Kondisi Optimum**
Suhu	35 ^{o}C
Derajat Keasaman	7-7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1-30/1
Sulfida	< 200 mg/L
Logam-logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5.000 mg/L
Kalsium	< 2.000 mg/L
Magnesium	< 1.200 mg/L
Amonia	< 1.700 mg/L

Sumber : Hermawan *et al*. (2007)

Proses mikrobiologi yang ada dalam fermentasi metana berlangsung dalam tiga tahap. Tahap pertama (hidrolisis) melibatkan enzim yang bertugas merombak komponen kompleks menjadi komponen yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan sumber karbon. Tahapan hidrolisis dilakukan degradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomernya yang berupa senyawa tak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan oleh mikrobia hidrolitik. Lipida berubah menjadi asam lemak dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin. Konversi lipid berlangsung lambat pada suhu dibawah 20 ^{o}C. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi exo-enzim yang dieksresi

oleh bakteri fermentatif. Hidrolisis molekul komplek dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti sellulase, protease, dan lipase. Tahap kedua melibatkan bakteri untuk merombak komponen yang dihasilkan pada tahap pertama menjadi hasil antara (asidogenesis). Monomer-monomer hasil hidrolisis dikonversi menjadi senyawa organik sederhana seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, karbondioksida, hidrogen, amoniak, dan gas hidrogen sulfida. Tahap tersebut dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri. Bakteri yang berperan adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif. Hasil pada tahap tersebut kemudian dikonversi menjadi hasil antara bagi produksi metana berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70 % dari COD (*Chemical Oxygen Demand*) semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen. Pembentukan tersebut tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya.

Tahap ketiga yaitu tahap metanogenesis yang melibatkan bakteri perombak hasil antara menjadi produk akhir berupa metana dan CO_2. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen. Faktor yang sangat menentukan dalam proses pembentukan biogas salah satunya adalah adanya peran serta bakteri. Proses tidak akan berjalan jika hanya terdapat salah satu bakteri saja, konsorsium memerlukan lebih dari satu spesies bakteri metanogen, ada spesies metanogen yang mampu mengkonversi asetat menjadi metana. Tahapan proses pembentukan gas metana terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan proses pembentukan gas metana (Grady dan Lim, 1980, yang dimodifikasi)

Lingkungan memiliki pengaruh yang besar pada laju pertumbuhan mikroorganisme baik pada proses aerobik maupun anaerobik. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses anaerobik antara lain suhu, pH, konsentrasi substrat dan zat beracun.

1. Suhu

   Gas dapat dihasilkan jika suhu antara 4-60°C dan suhu dijaga konstan. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada suhu optimum. Semakin tinggi suhu reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang. Beberapa jenis bakteri dapat bertahan pada rentang suhu tertentu dapat dillihat pada tabel 10.

   Tabel 10. Suhu pertumbuhan bakteri

Jenis Bakteri	Rentang Suhu (°C)
Psikrofilik	0-20
Mesofilik	20-45
Thermofilik	
a. Fakultatif Thermofilik	45-60
b. Obligat Thermofilik	> 60

   Sumber : Hamdiyati (2012)

   Proses pembentukan metana bekerja pada rentang suhu 30-40°C, tapi dapat juga terjadi pada suhu rendah sekitar 4°C. Laju produksi gas akan naik 100-400% untuk setiap kenaikan suhu 12°C pada rentang suhu 4-65°C. Mikroorganisme yang berjenis *thermophilic* lebih sensitif terhadap perubahan temparatur daripada jenis *mesophilic*. Pada suhu 38°C, jenis *mesophilic* dapat bertahan pada perubahan suhu sekitar 2,8°C. Untuk jenis

thermophilic pada suhu 49°C, perubahan suhu yang dizinkan sekitar 0,8°C dan pada suhu 52°C perubahan suhu yang dizinkan sekitar 0,3°C.

2. pH (keasaman)

   Bakteri penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana antara 6,4-7,4. Bakteri yang tidak menghasilkan metana tidak begitu sensitif terhadap perubahan pH, dan dapat bekerja pada pH 5-8,5. Proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Penurunan yang cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana. Untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur.

3. Konsentrasi Substrat

   Sel mikroorganisme mengandung karbon, nitrogen, posfor dan sulfur dengan perbandingan 100:10:1:1. Unsur-unsur tersebut harus ada untuk pertumbuhan mikroorganisme,. Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebdaning dengan konsentrasi substrat. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih baik.

4. Zat Baracun

   Zat organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Logam secara umum memiliki sifat racun yang akan semakin bertambah dengan tingginya valensi dan berat atomnya. Bakteri penghasil metana lebih sensitif terhadap racun daripada bakteri penghasil asam (Manurung, dkk., 2004).

E. Konversi Bahan Organik pada Proses Anaerobik ke Biogas

Biogas dikenal sebagai gas yang mudah terbakar. Gas tersebut dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri anaerob di dalam *biodigester* atau bioreaktor. Gas tersebut terdiri dari campuran gas metana (CH_4) sebesar 55-75%, gas karbondioksida (CO_2) berkisar 25-45%, gas nitrogen (N_2) berkisar 0-0,3%, gas hidrogen sulfida berkisar (H_2S) 0-3,5%, dan gas oksigen (O_2) berkisar 0,1-0,5% (Maryanti, 2011). Sifat biogas yaitu 20% lebih ringan dari udara. Biogas mempunyai satu suhu nyala di sekitar 650ºC sampai dengan 750ºC (Sathianathan, 1975 dalam Santerre dan Smith, 1980).

Biogas dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembangkit listrik, pemanas ruangan, memasak, dan pemanas air. Jika dikompresi, biogas dapat menggantikan gas alam terkompresi yang digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan. Di Indonesia nilai potensial pemanfaatan biogas ini akan terus meningkat karena adanya jumlah bahan baku biogas yang melimpah dan rasio antara energi biogas

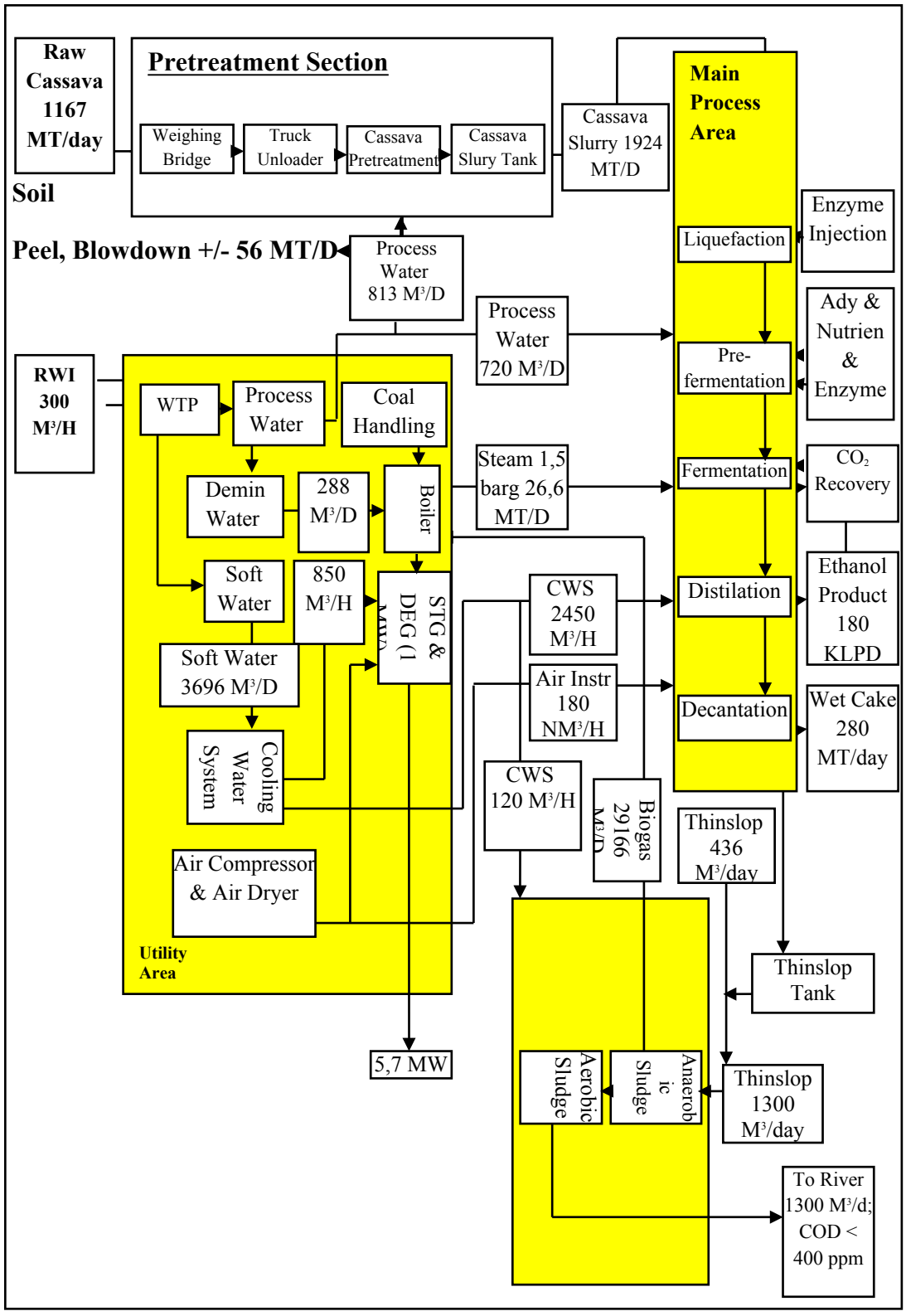
dan energi minyak bumi yang menjanjikan (Hermawan *et al.,* 2007). Konversi energi biogas dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Konversi Energi Biogas

Penggunaan	**Energi 1 m^3 biogas**
Penerangan*	sebanding dengan lampu 60-100 W selama 6 jam
Listrik*	sebanding dengan 1,25 KWH listrik
Pengganti bahan bakar**	
Minyak Tanah	0,62 liter
Solar	0,52 liter

Sumber: *) Kristoferson dan Bolkaders (1991) dalam Haryati (2006)
**) Ditjen PPHP Departemen Pertanian RI (2009)

Gas metana merupakan gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H dan memiliki sifat mudah terbakar. Gas metana yang dihasilkan dapat dibakar sehingga dihasilkan energi panas. Satu mol metana memerlukan dua mol oksigen untuk dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan air. Hal terebut mengakibatkan setiap produksi 16 gram metana dapat menurunkan COD air limbah sebanyak 64 gram. Stabilisasi 1 pound COD dapat menghasilkan 5,62 ft^3 metana atau 0,35 m^3 metana/kg COD pada suhu dan tekanan standar (Grady dan Lim, 1980).



Gambar 2. Proses produksi bioetanol PT Medco Ethanol Lampung (Said, 2011)

III. METODOLOGI

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Februari-April 2012.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah bioreaktor anaerobik dengan kapasitas 50 L yang dilengkapi dengan pengaduk (bioreaktor CSTR), *gasflow* meter, *gas sampler bag*, pH meter HM-20P, neraca analitik, desikator, *furnace* model EPTR-13K, reactor unit DRB200, HACH spektrofotometer DR/4000U, *gas cromathography,* serta alat-alat analisa lainnya.

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah *thinslop*, *vinasse*, dan *sludge* PT Medco Etanol Lampung, $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 pekat, $HgSO_4$, Ag_2SO_4, buffer 4 & 6, gas N_2, aquades, aquabides, tissu, label, alumunium foil, dan bahan analisa lainnya.

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskripsi dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik dan kemudian dianalisis secara deskriptif. Penelitian menggunakan tiga bioreaktor dengan kapasitas masing-masing sebesar 50 L. Perlakuan masing-masing bioreaktor dibedakan menjadi pemberian jumlah *vinasse* (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, 25% *thinslop* dan 75% *vinasse*, dan 100% *vinasse*) pada masing-masing tank dengan jumlah *load* yang berbeda tiap minggunya (0,5 g/L hari, 1,0 g/L hari, 1,5 g/L hari, dan 2,0 g/L hari). Parameter yang diamati adalah volume biogas, suhu, pH, *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatil Suspended Solid* (VSS), COD, dan konsentrasi gas metana. Pengamatan volume biogas, pH dan suhu dilakukan setiap hari. Pengamatan TSS, VSS, dan COD dilakukan 3 kali dalam tujuh hari. Pengamatan konsentrasi gas metana dilakukan 1 kali dalam tujuh hari .

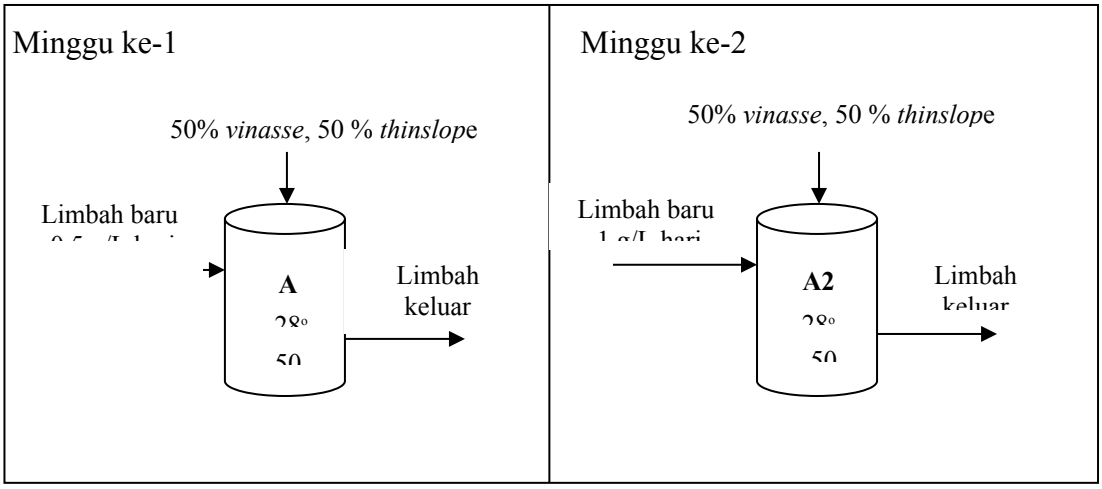
D. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian awal yang dilakukan adalah menentukan karaketrisasi air limbah segar industri bioetanol berupa *Sludge*, *Thinslop*, dan *Vinasse* dianalisa nilai pH, COD, *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Volatil Suspended Solid* (VSS).

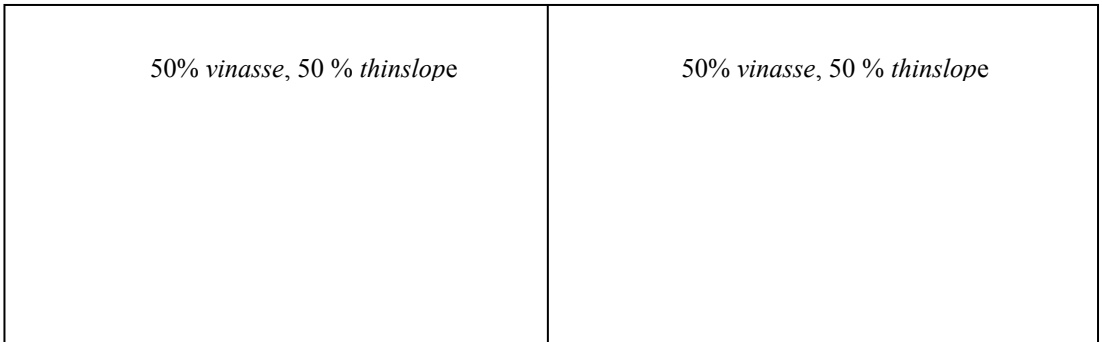
Penelitian selanjutnya adalah melakukan proses aklimatisasi. Air limbah industri bietanol berbahan baku ubikayu yang berasal dari PT Medco Etanol Lampung akan difermentasi dalam bioreaktor berpengaduk dengan kapasitas 50 Liter (bioreaktor 1,2 dan 3). Limbah berupa *sludge* dimasukan ke dalam masing-masing bioreaktor. Jumlah limbah yang dimasukkan ke dalam masing-masing bioreaktor sebesar 14,5 L. Penambahan *thinslop* sebesar 1 L per hari dilakukan sampai

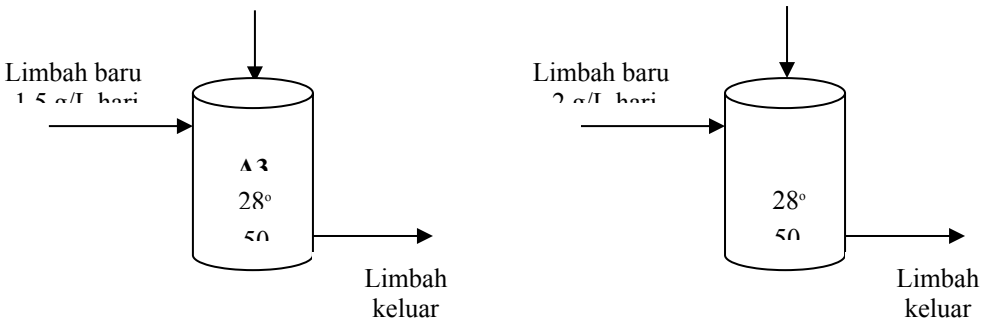
dengan pH stabil. Apabila terjadi penurunan pH, maka akan ditambahkan *sludge*. Perlakuan penambahan *vinasse* dapat dimulai bila pH limbah keluaran dari dalam bioreaktor telah stabil pada nilai 6.5-7.5 setiap harinya. Perlakuan masing-masing bioreaktor dibedakan menjadi pemberian jumlah *vinasse* (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, 25% *thinslop* dan 75% *vinasse*, dan 100% *vinasse*) pada masing-masing reaktor dengan jumlah *load* yang berbeda tiap minggunya (0,5 g/L hari, 1 g/L hari, 1,5 g/L hari, dan 2 g/L hari).

Bioreaktor I dilakukan perlakuan penambahan 50 % *vinasse* dan 50% *thinslop* dengan *load* yang berbeda tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter. Setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan *load* sebesar 0,5 g/L hari, minggu kedua sebesar 1 g/L hari, minggu ketiga 1,5 g/L hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L hari. Skema gambar bioreaktor I terdapat pada gambar 5 dan gambar 6.



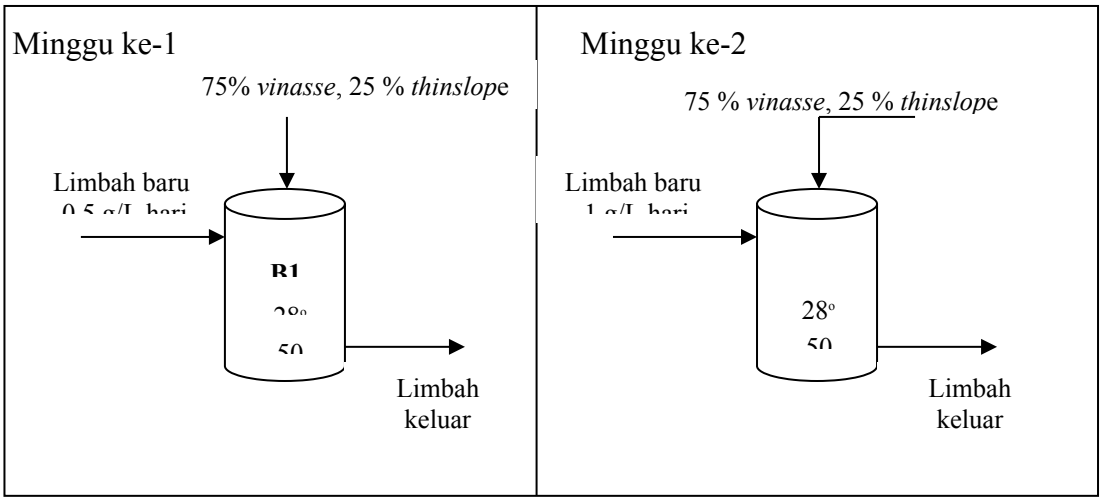
Gambar 5. Bioreaktor I minggu ke-1 dan minggu ke-2



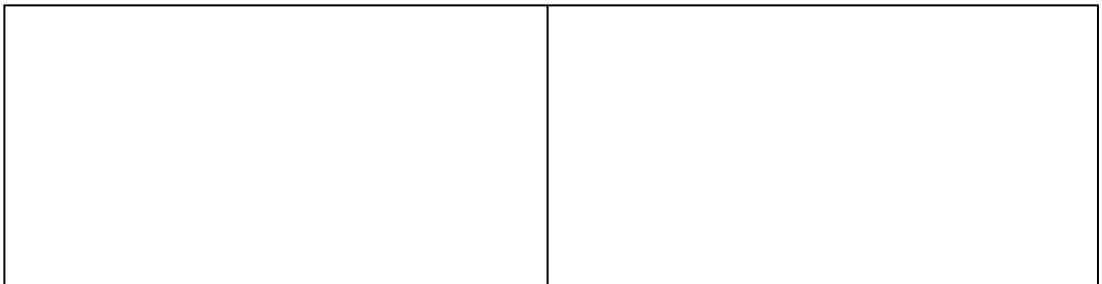


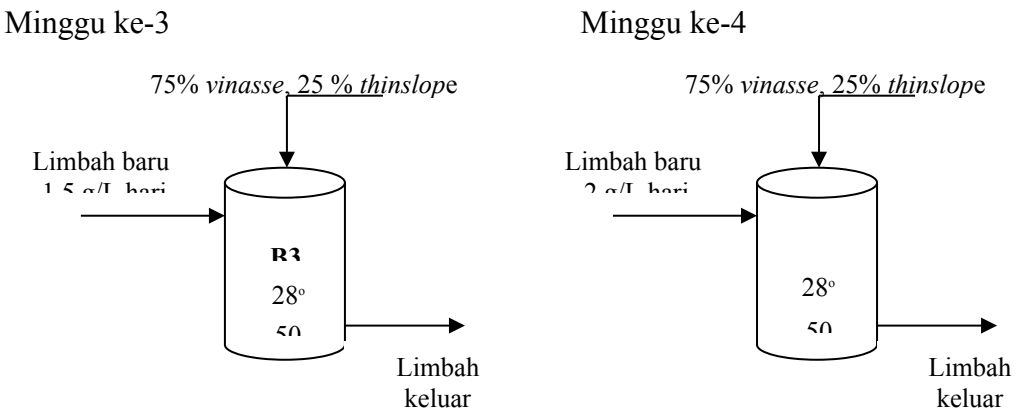
Gambar 6. Bioreaktor I minggu ke-3 dan minggu ke-4

Bioreaktor II dilakukan perlakuan penambahan 75 % *vinasse* dan 25 % *thinslop*e dengan *load* yang berbeda tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan *load* sebesar 0,5 g/L hari, minggu kedua sebesar 1 g/L hari, minggu ketiga 1,5 g/L hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L hari. Skema bioreaktor II terdapat pada gambar 7 dan gambar 8.



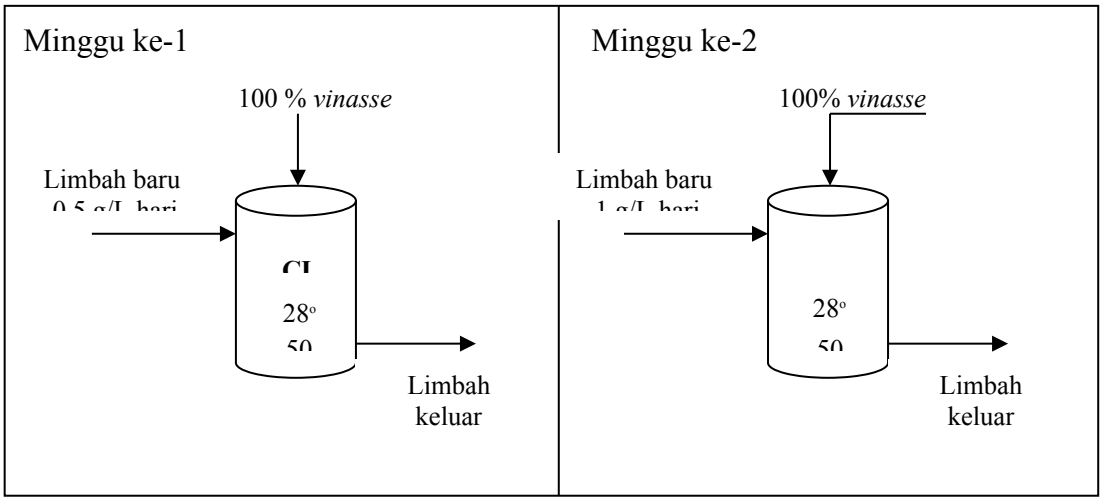
Gambar 7. Bioreaktor II minggu ke-1 dan minggu ke-2



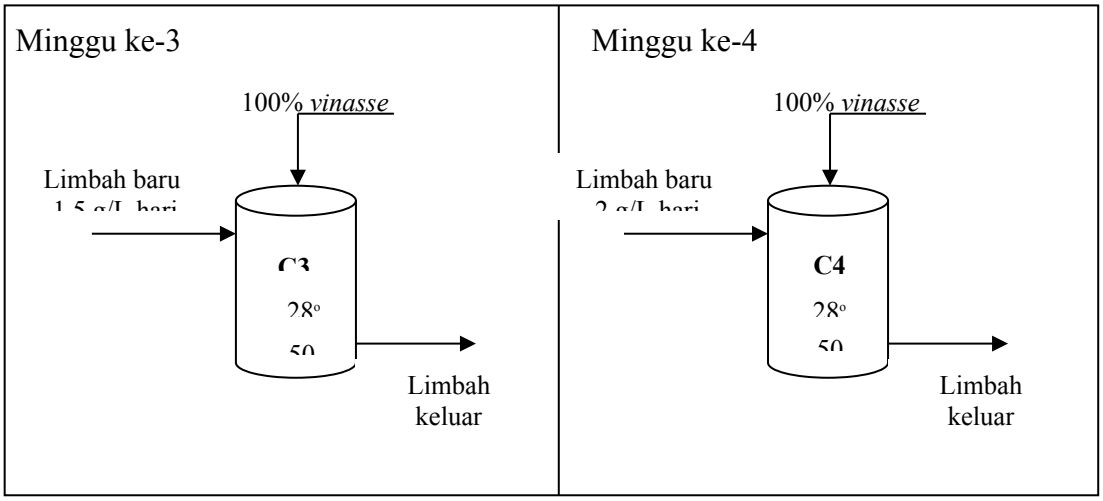


Gambar 8. Bioreaktor II minggu ke-3 dan minggu ke-4

Bioreaktor III dilakukan perlakuan penambahan 100% *vinasse* dengan *load* yang berbeda juga tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan *load* sebesar 0,5 g/L hari, minggu kedua sebesar 1 g/L hari, minggu ketiga 1,5 g/L hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L hari. Skema bioreaktor III terdapat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Bioreaktor III minggu ke-1 dan minggu ke-2



Gambar 10.Bioreaktor III minggu ke-3 dan minggu ke-4

Parameter yang diamati adalah volume biogas, suhu, pH, *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatil Suspended Solid* (VSS), dan COD, dan konsentrasi gas metana. Pengamatan volume biogas, pH dan suhu dilakukan setiap hari. Pengamatan TSS, VSS, dan COD dilakukan 3 kali dalam seminggu. Pengamatan konsentrasi gas metana dilakukan 1 minggu sekali.

E. Pengamatan

1. Pengukuran Volume Gas

Pengukuran produksi biogas menggunakan gas meter. Hasil yang ditunjukkan oleh gas meter dicatat ke dalam lembar data setiap hari. Volume biogas didapat dengan cara mengurangkan pencatatan hari ini dengan pencatatan hari sebelumnya (Shinagawa corporation, 2006).

2. Pengukuran pH dan Suhu

Analisa pH dan Suhu limbah dilakukan dengan menggunakan alat pH meter secara langsung setelah sampel limbah dikeluarkan dari dalam bioreaktor. Caranya dengan memasukkan pH meter ke dalam sampel limbah sambil diaduk

kemudian catat nilai pH dan suhu yang terbaca pada alat (DKK-TOA Corporation, 2004).

3. Pengukuran TSS dan VSS

Sebanyak 50 mL sampel limbah keluaran dari bioreaktor dimasukkan ke dalam tabung sentrifius kemudian disentrifius dengan kondisi pengoperasian sentrifius 3000 rpm selama 15–20 menit. Endapan yang terbentuk dari sentrifius dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui berat keringnya kemudian cawan + sampel dimasukkan ke dalam elektrik oven 105°C selama 2 jam. Setelah 2 jam cawan + sampel dimasukkan ke dalam desikator sekitar 30 menit atau sampai suhu ruang kemudian ditimbang. Selisih berat cawan + sampel setelah dioven 105°C selama 2 jam dengan berat kering cawan kosong dibagi dengan volume sampel yang disentrifius dalam Liter adalah nilai TSS (*Total suspended solid*) (APHA, 1998).

$$TSS = \frac{berat\ cawan\ setelah\ dioven\ 105^{o}C, 2\ jam\ (g) - berat\ \text{ker}ing\ cawan\ (g)}{volume\ sampel\ yang\ disentrifius\ (L)}$$

Kemudian cawan + sampel yang telah dioven 105°C dan ditimbang pada analisis *suspended solid* dimasukkan ke dalam elektrik furnace 600°C selama 40 menit, setelah 40 menit biarkan cawan + sampel dalam furnace hingga suhu dalam furnace turun sekitar 60°C kemudian cawan dimasukkan ke dalam desikator kira-kira 30 menit atau sampai suhu ruang dan setelah itu ditimbang. Selisih antara penimbangan cawan + sampel yang dioven 105°C dengan cawan + sampel yang difurnace 600°C dan dibagi dengan volume sampel yang disentrifius dalam Liter merupakan nilai VSS (*volatil suspended solid*) (APHA, 1998).

$$VSS = \frac{berat\ cawan\ stlh\ dioven\ 105^{o}C\,(g) - berat\ cawan\ stlh\ difurnace\ 600^{o}C}{volume\ sampel\ yang\ disentrifius\,(L)}$$

4. Pengukuran COD

Sampel limbah keluaran dari bioreaktor dihomogenkan dengan cara diaduk. Sebanyak 0,2 mL atau 200 µL sampel limbah diambil dengan menggunakan mikropipet, dan dimasukkan ke dalam *vial* yang berisi reagen COD lalu dipanaskan menggunakan *reactor unit* DBR200 pada suhu 150°C selama 2 jam. Setelah dipanaskan, *vial* dikeluarkan dan dibiarkan sampai suhu ruang kemudian dilakukan pengukuran nilai COD dengan menggunakan HACH Spektrofotometri DR4000 pada panjang gelombang 620 nm (HACH Company, 2004).

Cara pembuatan reagen COD (SNI 06-6989.2-2004) :

1) Larutan pencerna (*digestion solution*) pada kisaran konsentrasi tinggi

   Tambahkan 10,216 g $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 105 °C selama 2 jam ke dalam 500 ml air suling. Tambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 Hg SO_4. Larutan didinginkan pada suhu ruang dan diencerkan sampai 1000 mL.

2) Larutan pereaksi asam sulfat

   Tambahkan serbuk atau Kristal Ag_2SO_4 teknis ke dalam H_2SO_4 pekat dengan perbandingan 5,5 Ag_2SO_4 untuk tiap satu kg H_2SO_4 pekat atau 10,12 g Ag_2SO_4 untuk tiap 1000 mL H_2SO_4 pekat. Campuran bahan kimia ditunggu satu sampai dua jam hingga larut.

5. Pengukuran Konsentrasi Biogas

Pengukuran konsentrasi biogas dilakukan dengan cara menampung gas yang terbentuk pada bioreaktor ke dalam *gas sampler* kemudian sampel gas dianalisa dengan menggunakan *Gas Chromathography* (GC) untuk mengetahui jenis gas yang ada serta konsentrasinya (Shimadzu Corporation, 2004).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi *Sludge* dan Air limbah Segar Industri Bioetanol (*Thinslop* dan *Vinasse*)

Sludge merupakan lumpur yang berasal dari sistem pengolahan secara anaerobik. *Sludge* mengandung bakteri metanogenik, sehingga cukup baik dan cocok untuk material bibit bagi pengoperasian awal reaktor anaerobik. *Sludge* yang digunakan pada penelitian memiliki karakteristik seperti disajikan pada tabel 12.

Tabel 12. Karakteristik *Sludge*

Parameter	Satuan	Jumlah
pH		7,74
COD	mg/L	9.895
TSS	mg/L	9.122
VSS	mg/L	8.404

Suspended solid merupakan lumpur yang tersusun dari bahan organik dan anorganik yang terakumulasi di dalam bioreaktor yang merupakan sumber makanan bagi bakteri metanogenik sehingga mampu menghasilkan gas metana yang optimal. Tabel 12 menunjukkan bahwa *sludge* memiliki nilai TSS (*Total Suspended Solid*) yang tinggi, yaitu 9.122 mg/L. Data tersebut menunjukkan bahwa sumber makanan bagi bakteri metanogenik tersedia dengan cukup sehingga diharapkan *sludge* memiliki aktifitas baik dan menghasilkan metana yang optimal. Tabel 12 menunjukkan kandungan pH *sludge* sebesar 7,74. Nilai

pH tersebut sudah baik untuk pertumbuhan bakteri metanogenik, sehingga bakteri tersebut mampu mendegradasi bahan organik menjadi gas metana secara optimal. Tabel 12 menunjukkan bahwa nilai VSS dari *sludge* cukup tinggi, yaitu 8.404 mg/L. Nilai VSS memiliki korelasi dengan jumlah mikroba. Hal tersebut menunjukkan bahwa *sludge* yang digunakan pada penelitian memiliki jumlah mikroba yang cukup untuk mendegradasi bahan organik di dalam bioreaktor.

Air limbah segar industri bioetanol (*thinslop*, dan *vinasse*) yang digunakan pada penelitian memiliki karakteristik seperti disajikan pada tabel 13.

Tabel 13. Karakteristik air limbah segar industri bioetanol (*thinslop* dan *vinasse*)

Jenis Limbah	Parameter	Nilai	Satuan
Thinslop	pH	4,42-4,48	-
	COD	21.000-37.000	mg/L
	TSS	1.690-2.598	mg/L
	VSS	1.558-2.576	mg/L
Vinasse	pH	4,99-5,00	-
	COD	60.000-105.000	mg/L
	TSS	3.410-4.810	mg/L
	VSS	2.852-4.130	mg/L

Tabel 13 menunjukkan bahwa *thinslop* dan *vinasse* memiliki nilai pH yang relatif asam. Hal tersebut terjadi karena *thinslop* dan *vinasse* memiliki kandungan asam-asam organik hasil fermentasi. Asam-asam organik akan dimanfaatkan bakteri metanogenik untuk pertumbuhan. Bakteri tersebut akan mengubah asam-asam organik menjadi karbondioksida dan metana. Tabel 13 menunjukkan bahwa kandungan COD *thinslop* berkisar 21.000-37.000 mg/L dan *vinasse* berkisar 60.000-105.000 mg/L. Nilai COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan

oleh mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air limbah. Data tersebut menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki kandungan COD hampir tiga kali lipat lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop*. Nilai tersebut menunjukkan *vinasse* memiliki potensi biogas yang lebih tinggi dibandingkan *thinslop*. Hal tersebut didasarkan bahwa 1 kg COD menghasilkan 0,35 m^3 gas metana (Siregar, 2010). Tabel 13 menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki nilai TSS dan VSS yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop.* Nilai tersebut menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki sumber nutrisi yang lebih banyak. Nutrisi tersebut akan digunakan oleh bakteri metanogenik untuk mendegradasi komponen-komponen organik yang terdapat di dalam bioreaktor.

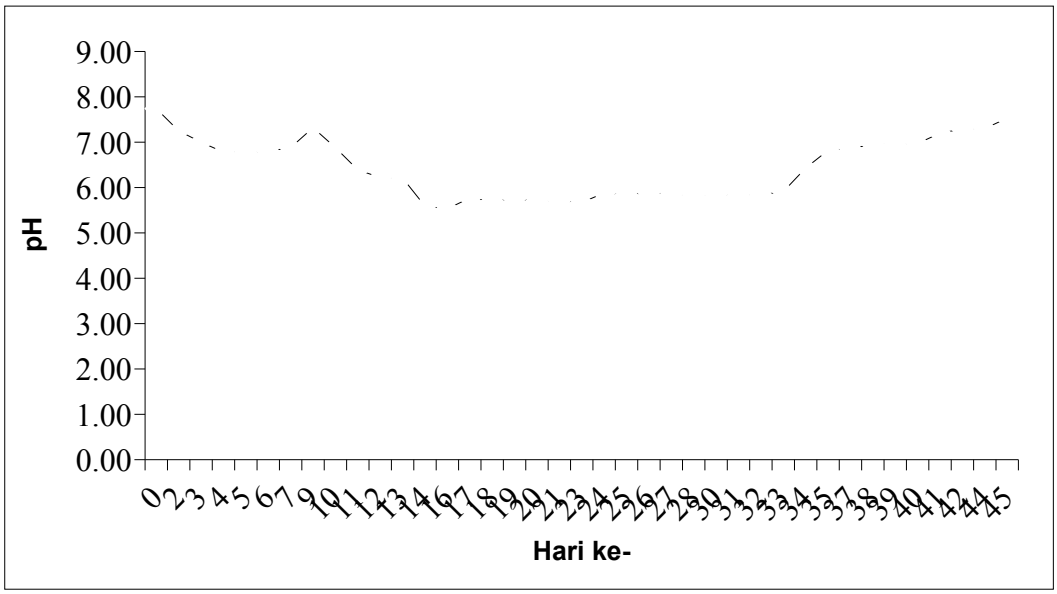
Tabel 13 menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki jumlah air limbah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan *thinslop.* *Vinasse* menghasilkan jumlah air limbah 320x dari bahan baku, sedangkan *thinslop* hanya menghasilkan air limbah 140x dari bahan baku. Selain itu, *vinasse* memiliki nilai COD 3 kali lipat lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop*. Nilai tersebut menunjukkan *vinasse* memiliki potensi biogas yang lebih tinggi dibandingkan *thinslop*. Jumlah air limbah *vinasse* yang dihasilkan lebih banyak dan memiliki kandungan COD yang relative tinngi mendasari dilakukannya penelitian pemanfaatan vinasse, yang mulai dilakukan dengan perlakuan 50%.

B. **Aklimatisasi tahap I**

Aklimatisasi merupakan suatu upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu organisme terhadap substrat baru yang akan diberikan agar dapat digunakan sebagai inokulum yang baik. Proses aklimatisasi tahap pertama pada penelitian berlangsung selama 45 hari. Proses aklimatisasi tahap pertama pada penelitian merupakan tahap pencampuran *sludge* dengan *thinslop*. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan pH, dari 6,78 sampai 5,67. Proses penurunan pH di dalam bioreaktor terjadi akibat pembebanan substrat. Proses penurunan pH terjadi hingga hari ke-33. Proses penurunan pH terjadi karena pada tahap awal fermentasi akan terbentuk asam-asam organik di dalam bioreaktor. Proses oksidasi yang lebih lambat dari proses pembentukannya akan menyebabkan konsentrasi asam organik akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH.

Proses penurunan pH akan mengakibatkan bakteri dalam bioreaktor tidak mampu mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Nilai pH yang rendah akan mempengaruhi kemampuan bakteri metanogenik dalam bioreaktor. Hal tersebut disebabkan bakteri metanogenik hanya dapat hidup dan bekerja optimal pada pH berkisar 6,4-7,4. Derajat keasaman (pH) meningkat kembali pada hari ke-34. Hal tersebut terjadi karena dilakukan penambahan *sludge* (SP6). Proses penambahan *sludge* (SP6) dilakukan untuk meningkatkan kembali nilai pH, karena bahan tersebut memiliki pH yang cukup tinggi, yaitu 8,2. Proses aklimatisasi tahap pertama dianggap cukup apabila pH relatif konstan sekitar 7,0

(Hasanudin, 1993). Hasil pengukuran nilai pH aklimatisasi tahap pertama pada masing-masing bioreaktor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengukuran nilai pH aklimatisasi tahap pertama

Proses adaptasi pada kondisi yang tepat akan membuat mikroorganisme tumbuh dan berkembang dengan sangat baik, dan mampu mendegradasi bahan-bahan organik sehingga menghasilkan biogas dengan konsentrasi gas metana yang optimal.

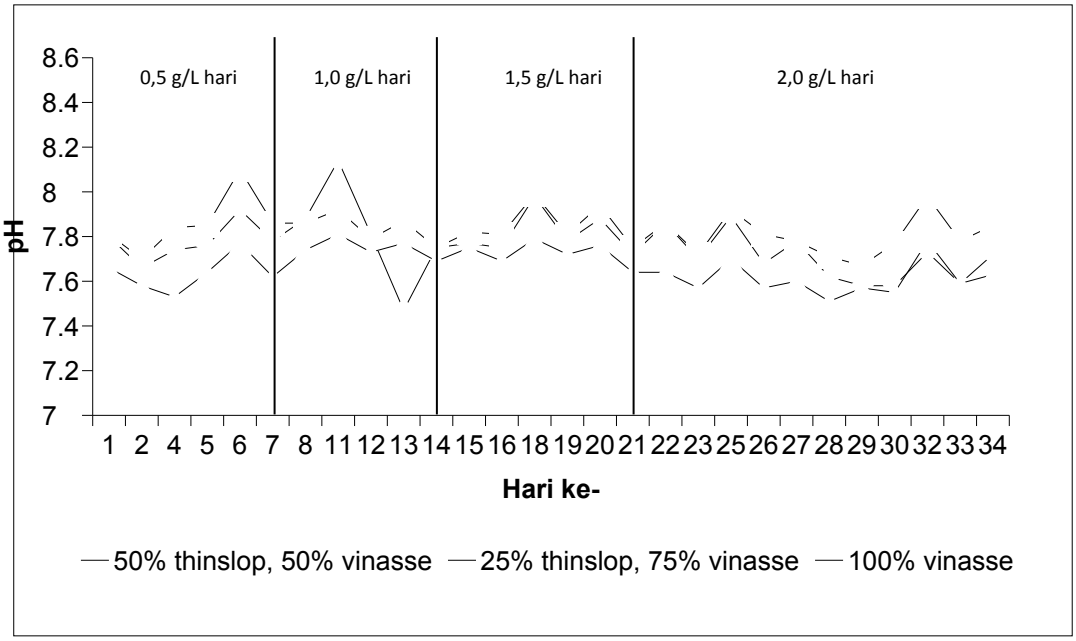
C. **Aklimatisasi Tahap II**

Aklimatisasi pada penelitian merupakan tahap proses adaptasi di dalam bioreaktor akibat terjadinya perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse*.

1. **Nilai pH dan Suhu**

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri metanogenik. Bakteri tersebut sangat sensitif dengan adanya perubahan pH. Nilai pH yang rendah akan membuat bakteri tidak mampu bekerja secara optimal dalam mendegradasi bahan organik dan mengubahnya menjadi biogas, sehingga pH dalam bioreaktor harus dijaga mendekati netral.

Vinasse yang dimasukkan ke dalam bioreaktor 1, 2, dan 3 mempunyai pH yang rendah berkisar 4,99-5,00, namun ketika di dalam bioreaktor, pH tetap stabil. Hal tersebut terjadi karena pH yang rendah dapat diimbangi dengan menguraikan asam-asam organik volatil menjadi gas metana dan karbondioksida oleh bakteri metanogenik, sehingga pH di dalam sistem tetap stabil kisaran optimum (6-8). Reaksi biokimia cenderung dapat menjaga pH pada tingkat yang dikehendaki secara otomatis. Proses pembentukan asam-asam organik volatil diimbangi dengan adanya degradasi asam-asam organik volatil tersebut menjadi buffer bikarbonat selama fermentasi metana. Hal tersebut terjadi karena dalam fermentasi metana juga dihasilkan karbondioksida. Karbondioksida berkesetimbangan dengan asam karbonat dan akan berdisosiasi membentuk ion-ion hidrogen dan ion karbonat. Ion-ion tersebut bertindak sebagai asam dan basa kuat yang akan mengontrol sistem (Grady dan Lim, 1980). Derajat keasaman efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 12 dan Tabel 14 (Lampiran) .

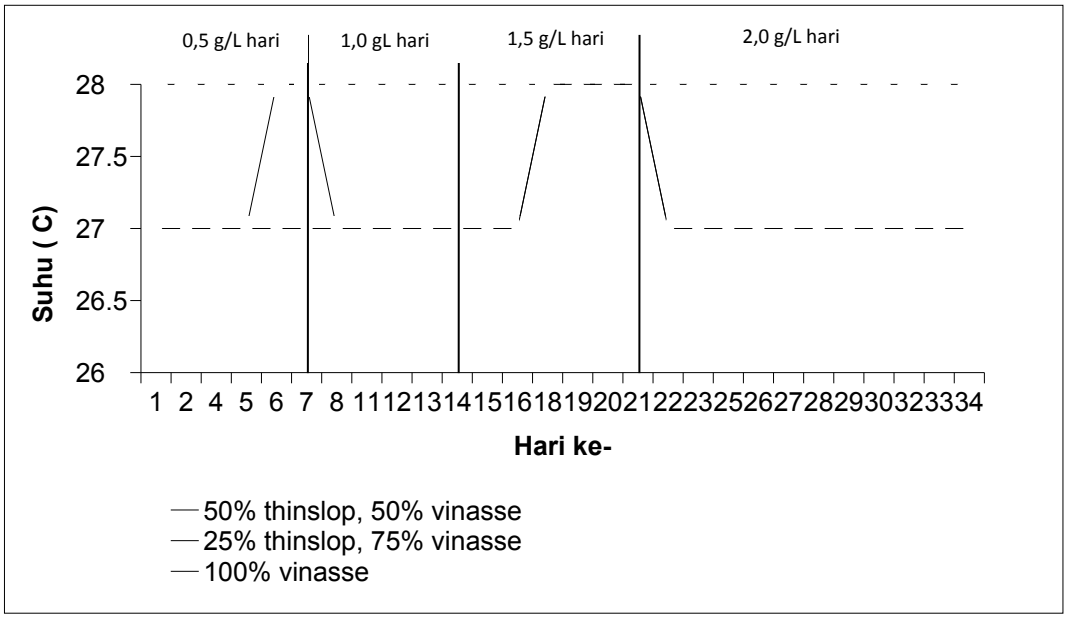


Gambar 12. Derajat keasaman efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 12 memperlihatkan nilai pH air limbah pada masing-masing bioreaktor. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai pH berkisar 7,54-8,14. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai pH berkisar 7,67-8,10. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai pH berkisar 7,51-7,81. Data tersebut menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mampu mempertahankan pH pada tingkat yang optimal untuk berlangsungnya dekomposisi secara anaerobik. Sekitar 70% produksi metana dari bahan organik dihasilkan melalui penguraian asam asetat, tetapi hanya sedikit spesies metanogenik yang dapat mendegradasi asam astetat menjadi metana dan karbondioksida. Aktifitas bakteri-bakteri tersebut dapat mengendalikan pH proses karena terjadi penguraian asam asetat dan terbentuknya karbondioksida.

pH optimum pada pengolahan air limbah secara anaerobik berkisar 6-8, karena bakteri metanogenik tumbuh dan mampu bekerja secara optimal pada pH tersebut (Savant *et al*., 2002). Gambar 12 menunjukkan nilai pH semua bioreaktor telah memenuhi kriteria untuk proses anaerobik dan pertumbuhan bakteri metanogenik. Gambar 12 menunjukkan bahwa perlakuan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki nilai pH yang relatif lebih stabil jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Gambar 12 menunjukkan bahwa perbedaan jumlah load yang ditambahkan tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan pH.

Suhu merupakan faktor lain yang harus dikontrol dan diperhatikan dalam keberhasilan proses anaerobik. Suhu efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 13 dan Tabel 15 (Lampiran) .

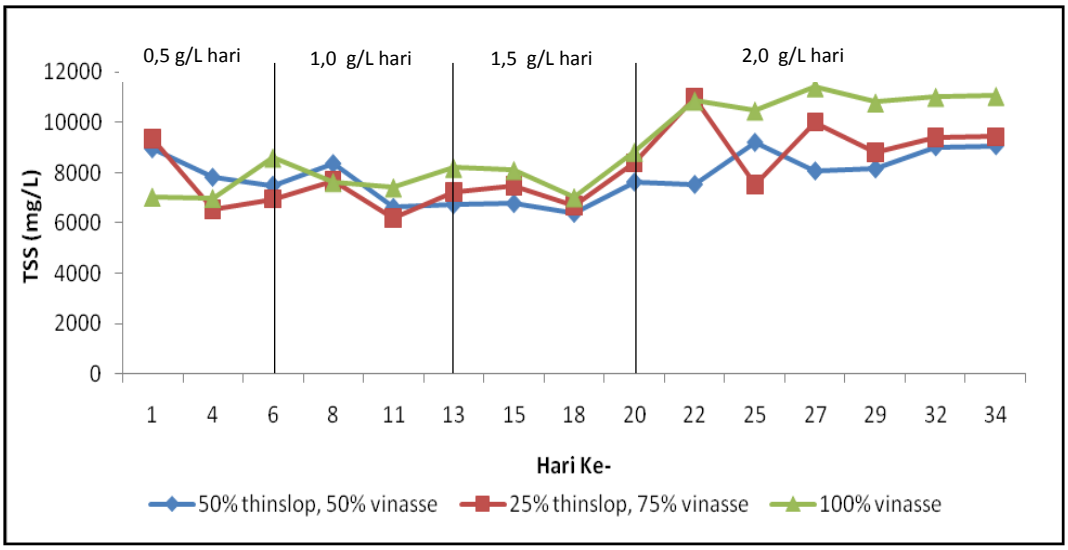


Gambar 13. Suhu efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 13 menunjukkan bahwa suhu semua bioreaktor cukup stabil, berkisar 27-28 ^{o}C. Suhu air limbah tersebut sudah memenuhi kriteria suhu optimum untuk proses anaerobik yang dioperasikan pada suhu mesofilik, yaitu berkisar 25-40 ^{o}C (Wise *et al.,* 2000 dalam Maryanti 2011). Bioreaktor di industri bioetanol secara umum dioperasikan pada kondisi suhu ruang. Gambar 13 menunjukkan bahwa perbedaan jumlah load tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan suhu.

2. ***Total Suspended Solid (TSS),Volatil Suspended Solid (VSS,*** **dan VSS/TSS**

Pengukuran *total suspended solid* (TSS) dilakukan untuk mengetahui jumlah lumpur yang tersusun dari bahan-bahan organik dan anorganik yang terakumulasi di dalam bioreaktor yang merupakan sumber makanan atau nutrien bagi bakteri metanogenik (Maryanti, 2011). Nilai TSS yang stabil mampu memacu laju pertumbuhan bakteri metanogenik. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai TSS berkisar 6.398-9.190 mg/L. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai TSS berkisar 6.180-10.978 mg/L. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai TSS berkisar 6.990-11.906 mg/L. Hasil pengukuran TSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 14 dan Tabel 16 (Lampiran) .



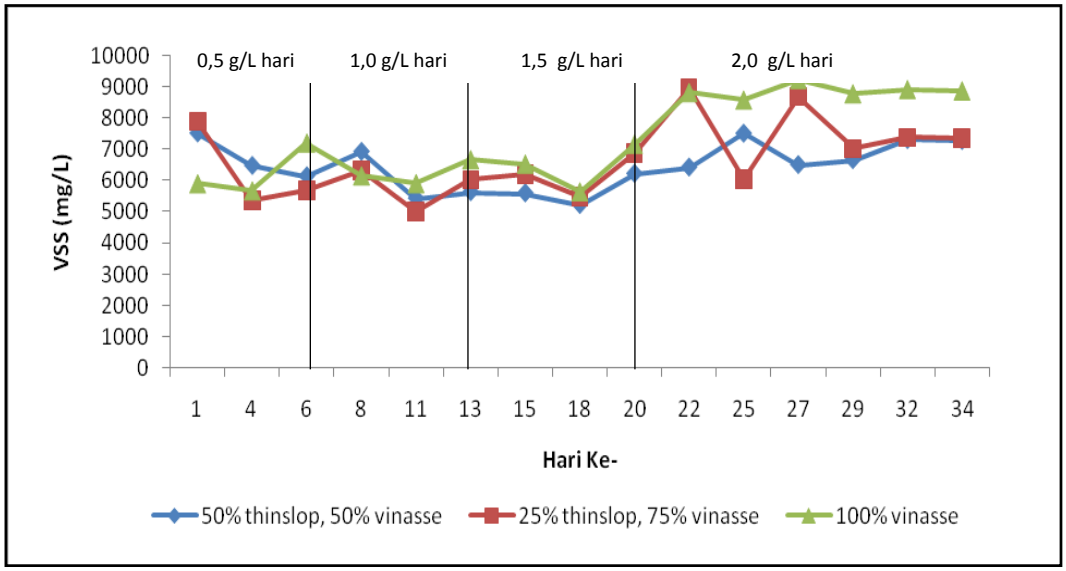
Gambar 14. Nilai TSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 14 menunjukkan bahwa kandungan *suspended solid* dalam masing-masing reaktor tinggi. Data tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *vinasse* di dalam bioreaktor, menghasilkan nilai TSS yang semakin tinggi. Hal tersebut karena *vinasse* memiliki kandungan unsur nutrien yang cukup tinggi dan sebagian besar merupakan unsur organik yang berguna dan dibutuhkan bagi pertumbuhan mikrorganisme.

Gambar 14 tersebut menunjukkan bahwa nilai TSS efluen dengan perlakuan jumlah load 0,5 g/L hari, 1,0 g/L hari, dan 1,5 g/L hari cenderung stabil. Hal tersebut memperlihatkan bahwa kemampuan mikrooganisme dalam mendegradasi bahan organik masih baik. Gambar 14 memperlihatkan bahwa nilai TSS tertinggi diperoleh dengan jumlah *load* sebesar 2,0 g/L hari. Jumlah *load* sebesar 2,0 g/L hari menghasilkan nilai TSS pada bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) berkisar 7.536-9.190 mg/L, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) menghasilkan nilai TSS 7.510-10.978 berkisar mg/L, dan bioreaktor 3 (100%

vinasse) menghasilkan nilai TSS berkisar 10.472-11.406 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesulitan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dengan jumlah load yang relatif tinggi.

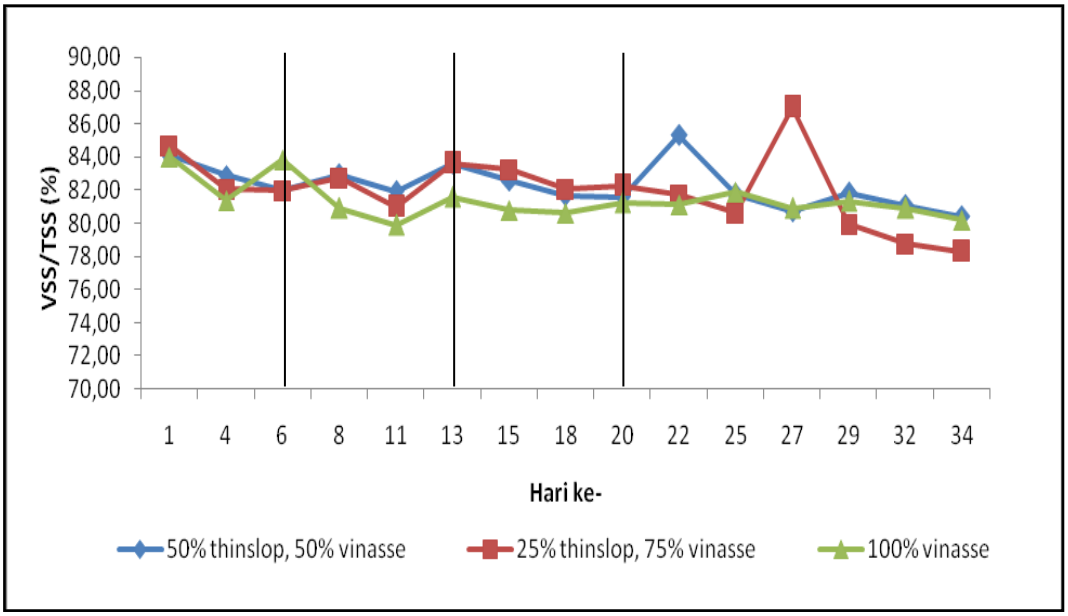
Nilai *volatil suspended solid* (VSS) menunjukkan besarnya kandungan biomassa yang terdapat di dalam air limbah. Selain itu, kemungkian juga akan terukur biomassa tidak aktif seperti metabolit padat dan bahan organik (Maryanti, 2011). Nilai VSS biasanya memiliki korelasi dengan jumlah mikroorganisme. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai VSS berkisar 5.226-5.720 mg/L. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai VSS berkisar 5.370-8.992 mg/L. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai VSS berkisar 5.658-9.228 mg/L. Hasil pengukuran VSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 15 dan Tabel 17 (Lampiran) .



Gambar 15. Nilai VSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 15 memperlihatkan nilai VSS air limbah pada masing-masing bioreaktor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *vinasse* di dalam bioreaktor, menghasilkan nilai VSS yang semakin tinggi. Hal tersebut sejalan dengan data nilai TSS dari penelitian. Gambar 15 menunjukkan bahwa perlakuan dengan jumlah load 2,0 g/L.hari memiliki fluktuasi nilai kandungan VSS yang tinggi. Fluktuasi VSS yang tinggi dapat mengganggu kinerja bakteri metanogenik dalam mendegradasi bahan organik pada air limbah untuk menghasilkan biogas (Hasanudin dkk., 2007). Berdasarkan hal tersebut, dapat dimungkinkan bahwa bioreaktor 3 akan menghasilan biogas yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan bioreaktor lainnya. Menurut Hasanudin dkk., (2007) semakin stabil dan semakin rendah nilai VSS selama proses fermentasi menunjukkan semakin banyak senyawa organik yang telah terurai.

Nilai rasio VSS/TSS menggambarkan nilai aktivitas dari biomassa di dalam *sludge* dalam menguraikan bahan organik di dalam air limbah. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki rata-rata nilai rasio VSS/TSS sebesar 82,29%. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki rata-rata nilai rasio VSS/TSS sebesar 81,99%. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki rata-rata nilai rasio VSS/TSS sebesar 81,37%. Nilai rasio VSS/TSS air limbah pada masing-masing bioreaktor dapat dilihat pada Gambar 16 dan Tabel 18.



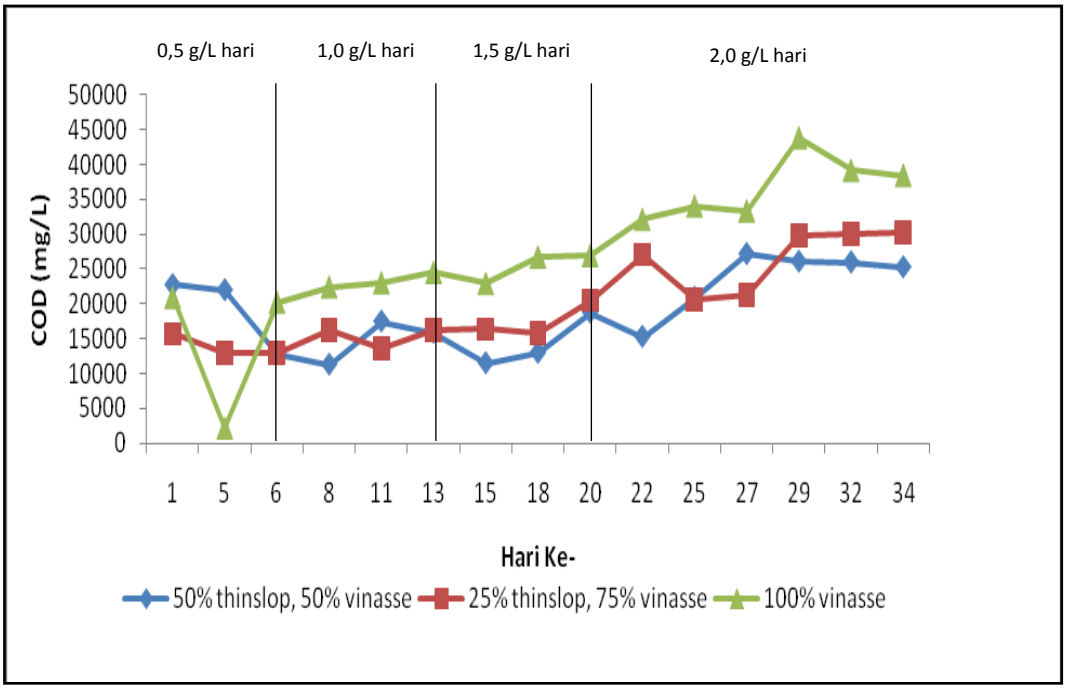
Gambar 16. Nilai rasio VSS/TSS efluen air limbah untuk bioreaktor1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 16 memperlihatkan nilai rasio VSS/TSS air limbah pada masing-masing bioreaktor Data penelitian menunjukkan bahwa perlakuan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse,* 25% *thinslop* dan 75% *vinasse,* dan 100% *vinasse* memiliki nilai rasio VSS/TSS yang tidak berbeda nyata. Nilai rasio VSS/TSS sudah cukup tinggi untuk masing-masing perlakuan. Menurut Haandel dan Lubbe (2007) nilai aktivitas dari biomassa di dalam *sludge* secara umum berkisar 0.70 mgVSS/mg TSS sampai dengan 0.85 mgVSS/mgTSS, atau berkisar 70-85%.

3. ***Chemical Oxygen Demand (COD)* dan *COD removal***

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik secara kimia. Analisa COD penting dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai COD dalam

bioreaktor selama proses fermentasi. Hasil pengukuran COD efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 17 dan Tabel 19 (Lampiran). Gambar 17 memperlihatkan nilai COD air limbah pada masing-masing bioreaktor. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai COD berkisar 11.300-27.200 mg/L. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai COD berkisar 13.000-30.200 mg/L. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai COD berkisar 2.250-49.300 mg/L.



Gambar 17. Nilai COD efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

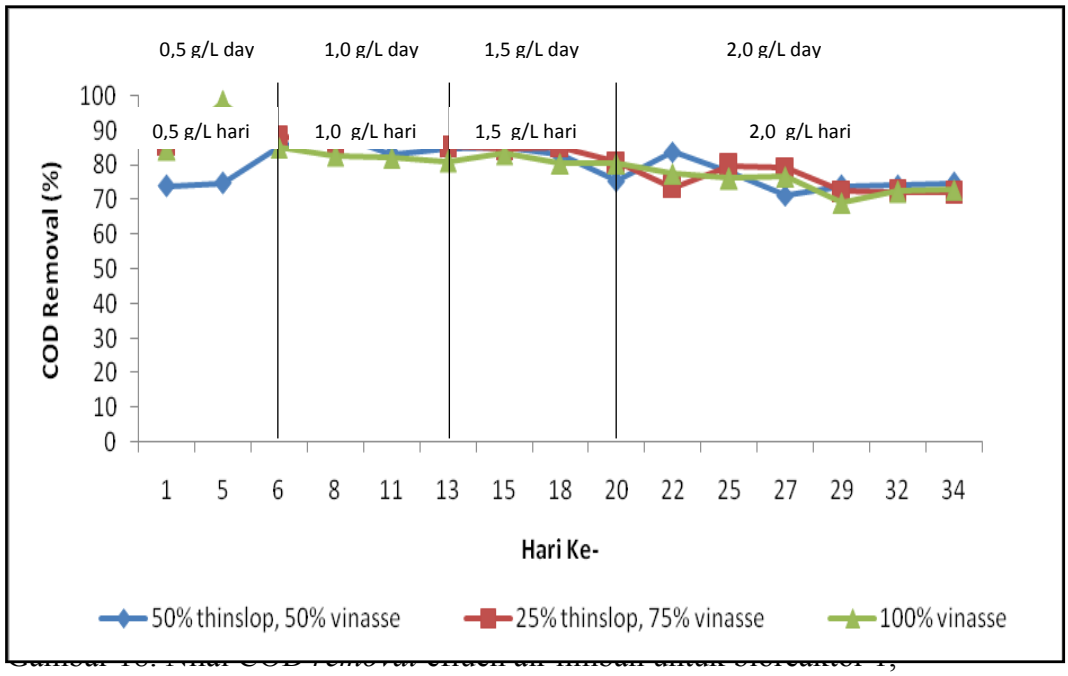
Gambar 17 menunjukkan bahwa bioreaktor yang mengandung konsentrasi *vinasse* yang lebih banyak menyebabkan nilai COD yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada awal operasi sudah memiliki nilai COD yang relatif lebih tinggi.

Gambar 17 menunjukkan adanya pengaruh jumlah load terhadap nilai COD pada masing-masing bioreaktor. Jumlah load yang dibebankan semakin besar menyebabkan nilai COD yang dihasilkan semakin tinggi pula. Gambar 17 menunjukkan adanya penurunan nilai COD pada masing-masing bioreaktor dengan jumlah load sebesar 0,5 g/L hari. Proses penurunan konsentrasi COD maksimum rata-rata dapat dicapai pada hari ke-6 (jumlah load sebesar 0,5 g/L hari). Penurunan nilai COD pada bioreaktor 1 berkisar 22.750-12.900 mg/L. Penurunan nilai COD pada bioreaktor 2 berkisar 15.750-13.000 mg/L. Penurunan nilai COD pada bioreaktor 3 berkisar 21.000-20.300 mg/L.

Penurunan nilai COD menunjukkan telah terjadi proses pendekomposisian bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam *vinasse* berupa senyawa kompleks telah diuraikan menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana oleh mikroorganisme. Gambar 17 memperlihatkan nilai COD justru meningkat dengan jumlah load sebesar 2,0 g/L hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya kesulitan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik di dalam *vinasse* dengan jumlah load di atas 0,5 g/L hari. Semakin besar jumlah load yang masuk ke dalam bioreaktor, maka akan semakin besar pula beban COD yang harus diiurai oleh mikroorganisme. Peningkatan beban organik yang besar terhadap bioreaktor dapat mempengaruhi konsentrasi COD di dalam sistem secara signifikan. Hal tersebut dapat terjadi karena peningkatan beban organik menimbulkan peningkatan kandungan/senyawa-senyawa organik yang terukur sebagai COD yang ada dalam air limbah (Ahmad, dkk., 2011),

sedangkan air limbah yang diumpankan mengandung konsentrasi tinggi sebesar 60.000-105.000 mg/L.

COD *removal* atau penyisihan COD adalah kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik per satuan waktu di dalam bioreaktor. Penelitian dengan menggunakan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* memiliki nilai COD *removal* rata-rata sebesar 79,35%. Penelitian dengan menggunakan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki nilai COD *removal* rata-rata sebesar 81,42%. Penelitian dengan menggunakan 100% *vinasse* memiliki nilai COD *removal* rata-rata sebesar 80,17%. Hasil pengukuran COD *removal* efluen air limbah untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 18 dan Tabel 20 (Lampiran) .



bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

COD *removal* dapat dijadikan salah satu indikator keberhasilan proses pengolahan anaerobik. Semakin besar penurunan nilai COD menunjukkan semakin baik kapabilitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik yang terkandung di dalam air limbah (Hasanudin dkk., 2007). Gambar 18 memperlihatkan nilai COD *removal* air limbah pada masing-masing bioreaktor. Peningkatan persen COD *removal* terjadi dengan jumlah load sebesar 0,5 g/L hari. kemudian mencapai keadaan yang relatif stabil atau *steady state* pada hari ke-16 hingga hari ke-34. Hal tersebut sejalan dengan nilai COD yang semakin menurun pada minggu yang sama.

Gambar 18 menunjukkan bahwa masing-masing bioreaktor yang menggunakan jumlah load 0,5 g/L hari mennujukkan kinerja yang lebih baik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mikroorganisme memberikan aktifitas kerja yang lebih baik dalam menguraikan bahan organik dengan jumlah load 0,5 g/L. Gambar 18 menunjukkan bahwa penyisihan nilai COD secara umum menurun dengan meningkatnya laju pembebanan organik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan bakteri dalam menguraikan bahan organik di dalam air limbah semakin lemah seiring dengan bertambahnya laju pembebanan organik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *COD removal* pada masing-masing perlakuan cukup tinggi. Penelitian dengan menggunakan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* memiliki COD *removal* sebesar 79,35%. Penelitian dengan menggunakan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki COD *removal* rata-rata sebesar 81,42%. Penelitian dengan menggunakan 100% *vinasse* memiliki COD

removal rata-rata sebesar 80,17%. Upaya peningkatan produksi biogas dari *vinasse* telah dilakukan oleh peneliti lain. Penelitian dilakukan dengan perlakuan variasi COD *influen*, yaitu 35.000 mg/L, 40.000 mg/L, 45.000 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas maksimum sebesar 0,167 m^3/hari pada loading COD sebesar 6,4 kg/m^3/hari dimana COD *removal* 57,267 % dengan produksi biogas sebesar 0,252 m^3 biogas/kg COD *removal* (Saputra dan Guna, 2009).

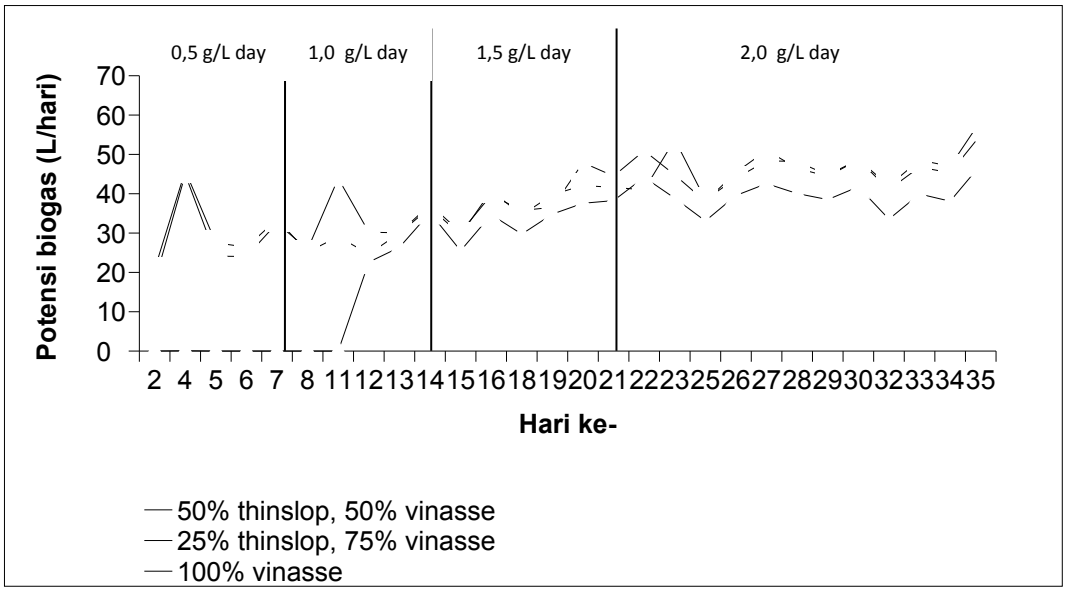
Berdasarkan hal tersebut, dapat dilihat bahwa penelitian dengan menggunakan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki COD *removal* yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan 100% *vinasse* pada penelitian tersebut. Hal tersebut dimungkinkan adanya pengaruh COD influen. Semakin sedikit jumlah COD influen akan memudahkan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Data penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki COD *removal* yang lebih baik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mikroorganisme di dalam 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* mampu menguraikan bahan atau senyawa-seyawa organik lebih optimal.

4. **Potensi Biogas dan *Sludge Activity Index***

Proses degradasi secara anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang berbeda. Proses penguraian dilakukan terutama oleh dua tipe reaksi, yaitu asidogenesis dan metanogenesis (Baloch, Akunna, dan Collier, 2007; Zoetemeyer, Van Den Heuvel, dan Cohen, 1982 dalam Soeprijanto, dkk., 2010). Proses pembentukan

biogas dimulai dari tahap asidogenesis. Bahan organik diuraikan menjadi asam-asam volatil pada tahap tersebut. Asam-asam volatil dimetabolis menjadi metana dalam tahap berikutnya oleh bakteri metanogenik untuk menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu komponen utama dari biogas.

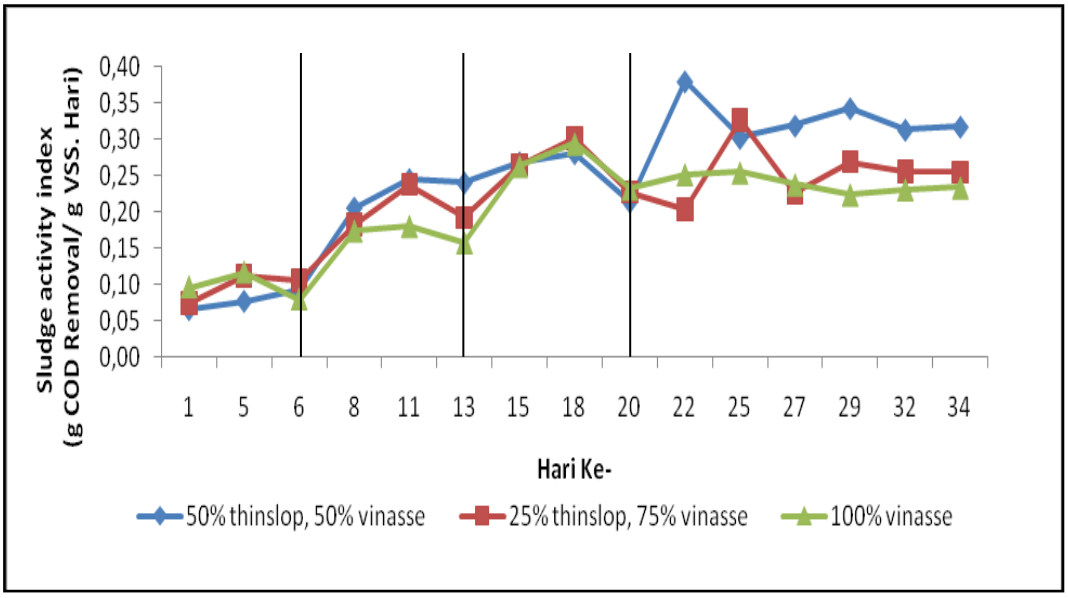
Potensi biogas diukur dengan menggunakan gas flow meter. Pengukuran parameter tersebut dilakukan setiap hari. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 39,39 L/hari. Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 38,97 L/hari. Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 27,23 L/hari. Hasil pengukuran potensi biogas untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 19 dan Tabel 21 (Lampiran) .



Gambar 20. Potensi biogas untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor

Gambar 19 memperlihatkan potensi biogas pada masing-masing bioreaktor. Gambar 19 menunjukkan bahwa produksi biogas cenderung mengalami kenaikan yang berfluktuasi. Penggunaan *vinasse* 100% hanya menghasilkan produksi gas rata-rata sebesar 27,23 L/hari. Hal tersebut terjadi karena adanya kelebihan substrat yang diumpankan ke dalam bioreaktor, menyebabkan bakteri asidogenik dan asetogenik semakin aktif dan semakin cepat tumbuh. Bahan organik yang dikonversi menjadi asam lemak semakin banyak dan menyebabkan terjadinya penurunan pH. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan pH. Bioreaktor 3 dengan kandungan *vinasse* sebesar 100%, memiliki nilai pH terendah dibandingkan dengan bioreaktor lainnya. Derajat keasaman (pH) yang rendah menyebabkan bakteri metanogenik tidak dapat bekerja optimal. Hal tersebut mengakibatkan produksi biogas menurun walaupun penyisihan COD lebih besar. Hal tersebut menyebabkan ketidakseimbangan antara asidogenesis dan metanogenesis karena proses didominasi oleh proses asidogenik dan aktivitas metanogenik kurang baik di dalam sistem (Soeprijanto dkk., 2010).

Sludge activity index adalah hasil pengukuran kapabilitas dari mikroorganisme di dalam sludge untuk mendegradasi bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. *Sludge activity index* dapat dukur dengan pengukuran rasio nilai COD *removal*/VSS. Hasil pengukuran *sludge activity index* untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 20 dan tabel 22 (Lampiran) .



Gambar 20. Nilai *sludge activity index* efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Gambar 20 memperlihatkan nilai *sludge activity index* pada masing-masing bioreaktor. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai *sludge activity index* rata-rata 0,24 g COD removal/(g VSS.hari). Bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai *sludge activity index* rata-rata 0,22 g COD removal/(g VSS.hari). Bioreaktor 3 (100% *vinasse*) memiliki nilai *sludge activity index* rata-rata 0,20 g COD removal/(g VSS.hari). Menurut Waterleau, 2005, index *anaerobic sludge* yang baik memiliki nilai lebih dari 0,20 g COD removal/(g VSS.hari), sedangkan *anaerobic sludge* yang memiliki kualitas rata-rata memiliki nilai 0,10 -0,20 g COD removal/(g VSS.hari). Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa bioreaktor1 dan bioreaktor 2 memiliki kualitas aktifitas *sludge yang* baik, sedangkan bioreaktor 3 memiliki kualitas rata-rata. Hal tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kesulitan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik yang terdapat di dalam *vinasse*.

Gambar 20 juga memperlihatkan bahwa terdapat kenaikan *sludge activity index* seiring dengan bertambahnya jumlah load pada masing-masing bioreaktor. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kapabilitas dari mikroorganisme di dalam *sludge* semakin meningkat. Bioreaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor *Continous Stirrer Reactor Tank* (CSTR) yang mana proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung di dalam satu reaktor. Slugde yang lebih aktif di dalam bioreaktor tersebut kemungkinan merupakan mikroorganisme asidogenik, sehingga sludge activity index meningkat pada load 2,0 g/L.hari walaupun nilai COD removal menurun. Hal tersebut menyebabkan ketidakseimbangan antara asidogenesis dan metanogenesis karena proses didominasi oleh proses asidogenik dan aktivitas metanogenik kurang baik di dalam sistem.

5. **Kandungan Gas Metana**

Gas metana merupakan gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H dan memiliki sifat mudah terbakar. Gas metana (CH4) yang terkandung di dalam biogas berkisar 55-75%. Data penelitian menunjukkan bahwa kandungan gas metana terbesar dapat dicapai pada bioreaktor 2 (25% thinslop dan 75% *vinasse* sebesar 40,073% pada minggu kedua, 40,291 % pada minggu ketiga dan sebesar 67, 292 pada minggu keempat. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri metanogen yang berada di dalam bioreaktor 2 dapat bekerja secara baik.Kandungan gas metana bioreaktor 1 (50% thinslop dan 50% vinasse),

bioreaktor 2 (25% thinslop dan 75% vinasse), dan bioreaktor (100% vinasse) dapat dilihat pada tabel 23.

Tabel 23. Kandungan gas metana bioreaktor 1 (50% thinslop dan 50% *vinasse*), bioreaktor 2 (25% thinslop dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor (100% *vinasse*)

Minggu ke-	Load COD	Bioreaktor 1	Bioreaktor 2	Bioreaktor 3	Satuan
2	1,0 g/L hari	29,488	40,073	19,499	%
3	1,5 g/L hari	32,673	40,291	20,458	%
4	2,0 g/L hari	52,814	67,292	57,343	%

Tabel 23 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah load yang dibebankan menghasilkan jumlah kandungan metana yang tinggi. Bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata paling tinggi jika dibandingkan dengan bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*), namun memiliki kandungan gas metana paling rendah. Hal tersebut dimungkinan karena sebagian bahan organik dikonversikan menjadi CO_2. Hal tersebut terlihat pada bioreaktor 1 menghasilkan kandungan CO_2 sebesar 11,125%, yang lebih tinggi daripada bioreaktor 2 sebesar 9,591% dan bioreaktor 3 sebesar 10,181 %.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

1. Karakteristik efluen hasil rekayasa proses aklimatisasi pada bioreaktor 1 dengan laju pembebanan 0,5 g/L hari, 1,0 g/L hari, 1,5 g/L hari, dan 2,0 g/L hari pada perlakuan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* memliki nilai potensi biogas rata-rata 39,39 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 32,673-52,814%, bioreaktor 2 pada perlakuan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki nilai potensi biogas rata-rata 38,97 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 40,291-67,292%, serta bioreaktor 3 pada perlakuan 100% *vinasse* memiliki nilai potensi biogas rata-rata 27,23 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 20,458-57,343%.
2. Metode yang tepat dalam proses aklimatisasi akibat adanya perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinnase* jika ditinjau dari parameter nilai *sludge activity index* dan potensi biogas terdapat pada bioreaktor 1 dengan perlakuan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* (laju pembebanan 2,0 g/L hari). Bioreaktor dengan perlakuan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* dengan laju pembebanan 2,0 g/L hari jika ditinjau dari kandungan gas metana menghasilkan nilai yang paling tinggi.

B. SARAN

1. Proses resirkulasi air limbah yang berasal dari outlet tanki metanasi disarankan untuk meningkatkan nilai *sludge activity index* sehingga bioreaktor anaerobik mampu menghasilkan produksi biogas dan kandungan gas metana yang optimal.
2. Penelitian aklimatisasi dengan menggunakan konsentrasi *thinslop* dan *vinasse* yang berbeda dapat dilakukan untuk mendapatkan produksi biogas dan kandungan gas metana lebih optimal.

LAMPIRAN

Tabel 14. Derajat keasaman efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Nilai pH		
	50% thinslop, 50% vinasse	**25% thinslop, 75% vinasse**	**100% vinasse**
1	7,80	7,81	7,66
2	7,66	7,70	7,58
4	7,74	7,84	7,53
5	7,76	7,85	7,64
6	7,92	8,10	7,77
7	7,78	7,86	7,62
8	7,88	7,86	7,74
11	8,14	7,92	7,81
12	7,81	7,79	7,73
13	7,47	7,87	7,77
14	7,75	7,75	7,69
15	7,77	7,82	7,75
16	7,75	7,81	7,69
18	7,98	7,99	7,79
19	7,78	7,81	7,72
20	7,88	7,94	7,76
21	7,72	7,75	7,64
22	7,86	7,86	7,64
23	7,70	7,72	7,57
25	7,89	7,92	7,70
26	7,68	7,81	7,57
27	7,78	7,78	7,60
28	7,62	7,71	7,51
29	7,58	7,67	7,57
30	7,58	7,77	7,55
32	7,73	7,98	7,78
33	7,59	7,78	7,59
34	7,72	7,85	7,63
Rata-rata	**7,76**	**7,83**	**7,66**

Tabel 15. Suhu efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Suhu (°C)		
	50% thinslop, 50% vinasse	**25% thinslop, 75% vinasse**	**100% vinasse**
1	28	27	27
2	28	27	27
4	28	27	27
5	28	27	27
6	28	28	27
7	28	28	27
8	28	27	27
11	28	27	27
12	28	27	27
13	28	27	27
14	28	27	27
15	28	27	27
16	28	27	27
18	28	28	28
19	28	28	28
20	28	28	28
21	28	28	28
22	28	27	27
23	28	27	27
25	28	27	27
26	28	27	27
27	28	27	27
28	28	27	27
29	28	27	27
30	28	27	27
32	28	27	27
33	28	27	27
34	28	27	27
Rata-rata	**28**	**27,21**	**27,14**

Tabel 16. Hasil pengukuran TSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari Ke-	Sampel			Satuan
	50% thinslop, 50% vinasse	**25% thinslop, 75% vinasse**	**100% vinasse**	
1	8.938	9.348	7.042	mg/L
4	7.818	6.546	6.990	mg/L
6	7.500	6.946	8.602	mg/L
8	8.356	7.660	7.626	mg/L
11	6.628	6.180	7.412	mg/L
13	6.744	7.214	8.194	mg/L
15	6.782	7.460	8.102	mg/L
18	6.398	6.688	7.020	mg/L
20	7.632	8.388	8.832	mg/L
22	7.536	10.978	10.870	mg/L
25	9.190	7.510	10.472	mg/L
27	8.066	10.008	11.406	mg/L
29	8.148	8.796	10.794	mg/L
32	9.018	9.384	11.018	mg/L
34	9.056	9.420	11.059	mg/L
Rata-rata	**7.854,00**	**8.168,40**	**9.029,27**	**mg/L**

Tabel 17. Hasil pengukuran VSS efluen air limbah untuk bioreaktor 1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Sampel			Satuan
	50% thinslop, 50% vinasse	25% thinslop, 75% vinasse	100% vinasse	
1	7.520	7.914	5.916	mg/L
4	6.480	5.370	5.688	mg/L
6	6.148	5.694	7.212	mg/L
8	6.930	6.336	6.170	mg/L
11	5.430	5.006	5.922	mg/L
13	5.636	6.032	6.684	mg/L
15	5.600	6.208	6.546	mg/L
18	5.226	5.488	5.658	mg/L
20	6.228	6.900	7.174	mg/L
22	6.428	8.972	8.818	mg/L
25	7.514	6.054	8.574	mg/L
27	6.508	8.708	9.228	mg/L
29	6.668	7.032	8.778	mg/L
32	7.310	7.392	8.914	mg/L
34	7.282	7.374	8.870	mg/L
Rata-rata	**6.460,53**	**6.698,67**	**7.343,47**	**mg/L**

Tabel 18. Nilai rasio VSS/TSS efluen air limbah untuk bioreaktor1,

bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	50% thinslop, 50% vinasse	25% thinslop, 75% vinasse	100% vinasse	Satuan
1	84,14	84,66	84,01	%
4	82,89	82,03	81,37	%
6	81,97	81,98	83,84	%
8	82,93	82,72	80,91	%
11	81,93	81,00	79,90	%
13	83,57	83,62	81,57	%
15	82,57	83,22	80,79	%
18	81,68	82,06	80,60	%
20	81,60	82,26	81,23	%
22	85,30	81,73	81,12	%
25	81,76	80,61	81,88	%
27	80,68	87,01	80,90	%
29	81,84	79,95	81,32	%
32	81,06	78,77	80,90	%
34	80,41	78,28	80,21	%
Rata-Rata	**82,29**	**81,99**	**81,37**	**%**

Tabel 19. Hasil pengukuran COD efluen air limbah untuk bioreaktor1,

bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Sampel			Satuan
	50% thinslop, 50% vinasse	**25% thinslop, 75% vinasse**	**100% vinasse**	
1	22.750	15.750	21.000	mg/L
5	22.000	13.100	2.250	mg/L
6	12.900	13.000	20.300	mg/L
8	11.300	16.300	22.500	mg/L
11	17.500	13.700	23.100	mg/L
13	15.900	16.300	24.600	mg/L
15	11.500	16.400	23.000	mg/L
18	13.000	15.800	26.800	mg/L
20	18.800	20.500	27.000	mg/L
22	15.300	27.000	32.200	mg/L
25	20.900	20.600	34.100	mg/L
27	27.200	21.200	33.400	mg/L
29	26.100	29.700	43.900	mg/L
32	26.000	29.900	39.200	mg/L
34	25.300	30.200	38.500	mg/L
Rata-rata	**19.096,67**	**19.963,33**	**27.456,67**	**mg/L**

Tabel 20. Hasil pengukuran COD *removal* efluen air limbah untuk bioreaktor1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Sampel			Satuan
	50% thinslop, 50% vinasse	25% thinslop, 75% vinasse	100% vinasse	
1	74,00	85,94	84,50	%
5	74,86	88,30	98,34	%
6	85,26	88,39	85,02	%
8	89,11	85,45	82,66	%
11	83,13	87,77	82,20	%
13	84,67	85,45	81,04	%
15	85,02	84,64	83,30	%
18	83,06	85,20	80,54	%
20	75,50	80,80	80,40	%
22	83,81	73,59	77,48	%
25	77,88	79,85	76,15	%
27	71,22	79,27	76,64	%
29	73,97	72,44	69,08	%
32	74,06	72,25	72,39	%
34	74,76	71,97	72,89	%
Rata-rata	**79,354**	**81,42**	**80,17**	**%**

Tabel 21. Hasil pengukuran potensi biogas untuk bioreaktor1, bioreaktor 2, dan bioreaktor 3

Hari ke-	Sampel			Satuan
	50% thinslop, 50% vinasse	25% thinslop, 75% vinasse	100% vinasse	
2	17,604	20,803	0,010	L/hari
4	44,888	45,852	0,087	L/hari
5	24,115	27,520	0,000	L/hari
6	24,055	26,432	0,000	L/hari
7	32,525	33,483	0,000	L/hari
8	25,855	25,170	0,000	L/hari
11	43,895	29,085	0,000	L/hari
12	30,225	24,660	22,620	L/hari
13	30,055	29,973	26,365	L/hari
14	37,255	36,472	35,185	L/hari
15	30,210	29,570	25,505	L/hari
16	39,655	40,740	34,660	L/hari
18	35,750	34,575	29,740	L/hari
19	36,545	39,755	34,825	L/hari
20	47,905	42,100	37,575	L/hari
21	44,480	41,600	38,255	L/hari
22	50,950	41,010	44,175	L/hari
23	44,775	53,775	38,855	L/hari
25	38,033	38,445	33,078	L/hari
26	45,425	43,930	39,560	L/hari
27	51,030	48,365	42,575	L/hari
28	46,460	48,205	40,045	L/hari
29	44,415	44,750	38,515	L/hari
30	48,635	48,675	41,760	L/hari
32	41,043	42,063	33,535	L/hari
33	46,780	48,550	39,930	L/hari
34	45,310	46,985	38,095	L/hari
35	54,970	58,585	47,380	L/hari
Rata-rata	**39,387**	**38,969**	**27,226**	**L/hari**

Tabel 22. Hasil pengukuran *sludge activity index* untuk bioreaktor 1 (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor 2 (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor 3 (100% *vinasse*)

Hari ke-	50% thinslop, 50% vinasse	25% thinslop, 75% vinasse	100% vinasse	Satuan
1	0,07	0,07	0,10	g COD removal/g VSS.hari
5	0,08	0,11	0,12	g COD removal/g VSS.hari
6	0,09	0,11	0,08	g COD removal/g VSS.hari
8	0,21	0,18	0,17	g COD removal/g VSS.hari
11	0,24	0,24	0,18	g COD removal/g VSS.hari
13	0,24	0,19	0,16	g COD removal/g VSS.hari
15	0,27	0,26	0,26	g COD removal/g VSS.hari
18	0,28	0,30	0,29	g COD removal/g VSS.hari
20	0,21	0,23	0,23	g COD removal/g VSS.hari
22	0,38	0,20	0,25	g COD removal/g VSS.hari
25	0,30	0,33	0,25	g COD removal/g VSS.hari
27	0,32	0,23	0,24	g COD removal/g VSS.hari
29	0,34	0,27	0,22	g COD removal/g VSS.hari
32	0,31	0,26	0,23	g COD removal/g VSS.hari
34	0,32	0,25	0,23	g COD removal/g VSS.hari
Rata-rata	**0,24**	**0,22**	**0,20**	**g COD removal/g VSS.hari**

Gambar 21. Pencatatan volume biogas

Gambar 22. Pengeluaran air limbah dari bioreaktor

Gambar 23. Pengukuran *influen* (*thinslop* dan *vinasse*)

Gambar 24. Pencampuran *thinslop* dan *vinasse*

Gambar 25. Proses pemasukan influen

Gamabr 26. Penyimpanan campuran *thinslop* dan *vinasse*

Gambar 27. Bioreaktor CSTR kapasitas 50 L

Gambar 28. Gas flow meter

Gambar 29. pH meter

Gambar 30. Timbangan analitik 4 digit

Gambar 31. Spechtrofotometer

Gambar 32. Gas chromatography