

JRL	Vol.6	No.3	Hal. 263 - 273	Jakarta, November 2010	ISSN : 2085-3866
-----	-------	------	----------------	---------------------------	------------------

AIR LIMBAH INDUSTRI BIOETANOL BERBAHAN BAKU UBI KAYU SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI BIOGAS

Adi Mulyanto

Balai Teknologi Lingkungan (BTL), BPPT
Gedung 412, PUSPIPTEK, Serpong
adimul2004@yahoo.com

Abstract

As a tropical country, Indonesia has riches of biomass. Cassava is one of biomass which contains plenty of carbohydrate. Carbohydrate then is utilized as a source for producing bioethanol. In producing of bioethanol, the process also yield side product named vinasse. Vinasse is produced from distillation process of solution containing ethanol which has concentration between 7 and 10%. Vinasse contents very high organic substances with COD and BOD concentration amounting of 30,000 mg/L and 27,000 mg/L respectively. Vinasse was then treated in an anaerobic process by using fixed bed digester. Anaerobic fixed bed digester volume was 225 L. The digester was provided with support materials made from cutted PVC pipe. The support materials has void volume of 93%. Therefore, the effective volume of the digester was 209 liters. The digester was operated by upflow mode. Research result from this experiment will be utilized as basic design for producing biogas at a bioethanol plant located in Lampung Tengah. Capacity of the plant is 8,000 litres of bioethanol per day. Whereas the vinasse produced is 100,000 litres per day.

Keywords: *bioethanol, vinasse, fixed bed digester, biogas, casava waste water*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Prospek pengembangan dan penggunaan bioenergi sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia sangat menjanjikan, mengingat bahwa:

- Pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan populasi mendorong terus meningkatnya laju konsumsi energi.
- Terbatasnya ketersediaan bahan bakar minyak berbasis fosil.
- Melimpahnya potensi bioenergi.
- Terbatasnya keuangan Pemerintah dalam penyediaan energi.

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin bensin. Bioetanol ini merupakan bahan bakar alternatif yang terbarukan. Indonesia pada saat ini memerlukan premium sebagai bahan bakar mesin bensin sebesar lebih kurang 20 juta kL per tahun dan hampir seluruhnya bersumber dari bahan bakar fosil. Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi bioetanol ini dapat berupa molase dan pati-patian.

Indonesia yang mempunyai iklim tropis sangat diuntungkan karena ketersediaan bahan baku ini melimpah. Balai Besar Teknologi Pati, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (B2TP-BPPT) yang

berlokasi di Negara Bumi Ilir, Kecamatan Anak Tuha, Lampung Tengah (\pm 18 Km sebelah Barat Bandar Jaya) telah mengembangkan dan memproduksi bioetanol menggunakan bahan baku singkong (ketela pohon) dengan kapasitas 8.000 liter per hari. Kegiatan produksi bioetanol ini menghasilkan air limbah sebesar 100 m³ per hari. Air limbah inipun merupakan bahan baku yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi bahan bakar berupa biogas melalui proses anaerobik dalam sebuah reaktor.

1.2 Tujuan dan Sasaran

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter desain yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan pemanfaatan dan pengolahan air limbah industri bioetanol. Sedangkan sasaran dari penelitian ini adalah:

1. Terbangunnya satu unit digester anaerobik bervolume 225 liter dengan sistem unggun tetap (*fixed bed*).
2. Diperolehnya kinerja dari digester anaerobik dalam mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air limbah industri bioetanol berbasis pati-patian.
3. Diperolehnya kinerja digester anaerobik dalam menghasilkan biogas sebagai sumber bahan bakar terbarukan.

1.3 Deskripsi Proses dan Karakteristik Air Limbah

Secara garis besar, proses pembuatan bioetanol ini dapat digambarkan sebagai berikut:

- Singkong dicuci, dikupas kulit tipis bagian luarnya, kemudian dihancurkan hingga menjadi bubur.
- Bubur singkong yang diperoleh kemudian dimasak dan diberi enzim untuk merubah karbohidrat menjadi gula.
- Gula yang diperoleh kemudian difermentasi untuk menghasilkan etanol.

- Hasil fermentasi ini masih berupa cairan yang mengandung etanol antara 7-10%.
- Cairan ini kemudian didistilasi menggunakan unit distilasi bertingkat hingga dihasilkan etanol teknis berkadar sekitar 96%.
- Untuk menjadi bioetanol sebagai bahan bakar mesin bensin (Fuel Grade Ethanol/FGE), maka etanol 96% ini harus dimurnikan dengan kemurnian kadar etanol minimal 99,5%.

Air limbah terbesar dihasilkan dari *distillery slop* (pada unit distilasi bertingkat untuk menaikkan kadar etanol dari 7-10% menjadi sekitar 96%) yang biasa disebut sebagai *vinasse*. *Vinasse* ini apabila langsung dibuang ke lingkungan akan mengakibatkan pencemaran serius karena *vinasse* ini mengandung bahan organik yang sangat tinggi. Bahan organik ini diukur dalam besaran COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*). COD dan BOD dari *vinasse* ini masing-masing sebesar 30.000 mg/L dan 27.000 mg/L. Perbandingan BOD dan COD yang relative besar menunjukkan bahwa air limbah ini sangat mudah untuk dirombak secara biologis. Setelah mengalami proses perombakan, maka akan diperoleh substrat yang sudah stabil dan sangat baik untuk dijadikan sebagai penyubur tanaman atau pupuk cair. Oleh karena itu, air limbah ini harus diolah, bahkan dimanfaatkan agar supaya tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan. Apabila tidak diolah, maka target pencemarannya adalah tanah (lahan), air permukaan, air tanah, dan udara. Tanah akan menjadi asam sebagai akibat dari proses pengasaman terhadap bahan organik yang terkandung di dalam *vinasse*. Sebagai akibatnya, tanah akan kehilangan kesuburan. Air permukaan akan kehilangan fungsinya sebagai tempat hidup ikan dan mikroorganisme lain. Hal ini diakibatkan selain air bersifat asam, juga air akan mengalami kekurangan oksigen yang ditunjukkan rendahnya nilai oksigen terlarut di dalam air. Dengan berkurangnya nilai oksigen terlarut

dalam air, maka air akan cenderung bersifat anaerob, sehingga makhluk hidup yang bersifat aerob akan mati. Air tanah akan tercemar dengan meresapnya *vinasse* ini. Dengan berlangsungnya perombakan bahan organik secara anaerobik, maka akan timbul bau busuk di area *vinasse* ini dibuang. Karena masalah-masalah tersebut maka diupayakan untuk mengolah *vinasse* ini hingga dicapai keadaan yang stabil dari *vinasse* terolah, sehingga dapat diterima oleh lingkungan, terutama untuk aplikasi di lahan pertanian, perkebunan dan kehutanan. Karena industri bioetanol ini memerlukan energi yang cukup besar di dalam operasinya, maka diupayakan supaya *vinasse* ini tidak hanya diolah, tetapi harus dimanfaatkan sebagai penghasil biogas yang sementara ini akan dipakai sebagai sumber energi pembangkit uap untuk proses penyulingan. Jadi pembangunan instalasi ini mencakup proses pengolahan dan pemanfaatan *vinasse*.

Dengan konversi bahan organik yang terkandung di dalam *vinasse* menjadi biogas, maka akan didapat *vinasse* yang stabil. Dengan demikian ada dua sasaran pemanfaatan, yaitu penghasil sumber energi, dalam bentuk biogas dan penghasil nutrisi tumbuhan, dalam bentuk pupuk cair (akan lebih baik apabila diperkaya dengan unsur hara makro dan mikro). Supaya langkah-langkah pengolahan dan pemanfaatan *vinasse* ini tercapai, maka diterapkan proses biologis, yaitu secara anaerob menggunakan Digester Unggun Tetap (*Fixed Bed Digester*).

1.4 Proses Pengolahan dan Pemanfaatan Air Limbah Industri Bioetanol.

Semua aktifitas produksi di industri pada akhirnya akan menghasilkan limbah yang mungkin merupakan bahan sisa yang tidak dapat diproses, atau mungkin juga hasil dari proses produksi yang tidak efisien. Pada masa kini perlu diupayakan untuk mengubah limbah tersebut sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk lain. Dengan kata lain ada upaya untuk memanfaatkan limbah yang

dihasilkan. Yang menjadi permasalahan dari upaya pemanfaatan limbah ini adalah apakah secara ekonomi layak atau tidak. Hal ini akan dapat terjawab dengan sentuhan teknologi yang tepat guna, dengan memikirkan hal-hal yang berdasarkan pada prinsip-prinsip produksi bersih.

Vinasse mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi, oleh sebab itu, penerapan proses biologis merupakan salah satu langkah yang tepat untuk mendayagunakan air limbah industri bioetanol. Dengan demikian, fermentasi secara anaerob menjadi salah satu pilihan.

Ada 3 hal yang dapat dicapai melalui upaya pengolahan dan pemanfaatan air limbah industri bioetanol ini, yakni:

- Memanfaatkan kandungan bahan organik yang tinggi yang terkandung di dalam limbah cair industri bioetanol menjadi produk yang bermanfaat, misalnya biogas dan pupuk cair.
- Tercapainya proses stabilisasi biokimia pada limbah cair terolah.
- Menurunkan kadar bahan organik pada limbah cair sehingga didapatkan limbah terolah yang dapat digunakan sebagai pupuk cair dengan atau tanpa penambahan unsur hara makro dan mikro.
- Mengurangi bau yang timbul akibat perombakan bahan organik secara anaerobik yang dapat mengganggu kehidupan masyarakat di sekeliling pabrik.

1.5 Digester Unggun Tetap (*Fixed Bed Digester*)

Digester Unggun Tetap merupakan salah satu model operasional proses pengolahan dan pemanfaatan limbah cair secara anaerob. Proses ini sangat efektif untuk mengolah limbah cair dengan kandungan bahan organik tinggi. Konversi bahan organik menjadi biogas dapat mencapai 70%. Dengan demikian proses ini sangat tepat diterapkan sebagai langkah

awal dari proses berikutnya, misalnya proses biologi secara aerob. Bakteri anaerob yang ada di dalam digester unggul tetap adalah bakteri yang hanya hidup pada kondisi tanpa oksigen bebas. Untuk melakukan proses metabolismenya, bakteri anaerob menggunakan oksigen terikat yang terdapat dalam senyawa organik. Dengan demikian, bakteri anaerob mampu untuk dimanfaatkan sebagai pengolah limbah cair yang mengandung senyawa organik tinggi.

Beberapa keuntungan dari penerapan teknologi anaerob ini antara lain adalah:

- Rendahnya energi yang dibutuhkan karena tidak perlu menyediakan sistem aerasi.
- Rendahnya nutrien yang diperlukan.
- Rendahnya lumpur yang dihasilkan.
- Mampu mengolah limbah cair berkonsentrasi bahan organik tinggi.
- Menghasilkan sumber energi alternatif dalam bentuk biogas yang mengandung gas metana.

Sedangkan kerugiannya adalah tingginya investasi awal yang harus ditanamkan dan rentannya proses, mulai dari proses awal dan selama operasi berlangsung.

Supaya proses anaerob ini berjalan dengan baik, maka dibutuhkan keseimbangan antara laju pembentukan asam dan laju pembentukan gas metana. Secara alamiah, apabila tidak ada perlakuan, maka laju pembentukan asam akan lebih cepat. Oleh karena itu dibutuhkan rekayasa desain digester anaerob dan rekayasa pengoperasiannya, sehingga dicapai keseimbangan tersebut. Rekayasa desain digester anaerob adalah menambat masa mikroba untuk tetap tinggal di dalam digester. Dengan masa mikroba yang padat, maka efisiensi degradasi atau konversi bahan organik menjadi biogas akan tinggi. Untuk menambat masa mikroba di dalam digester, maka digunakan media. Media yang digunakan terbuat dari plastik. Di permukaan media inilah masa mikroba tersebut menempel, tumbuh, berkembang biak dan mengkonsumsi bahan organik sebagai makanannya. Rekayasa

desain juga dilakukan pada sistem sirkulasi. Untuk memperbaiki kinerjanya, digester perlu dilengkapi dengan pompa sirkulasi untuk mensirkulasi keluaran. Sirkulasi ini memungkinkan terjadi proses pengenceran di dalam sistem itu sendiri, sehingga dapat menghindari kejutan pengumpanan. Dengan sirkulasi juga dicapai kondisi yang relatif homogen di dalam digester.

Pada fermentasi anaerob, *vinasse* akan diproses oleh bakteri hidrolisa dan pengasaman, sehingga asam-asam organik yang terbentuk akan berkonsentrasi tinggi. Sebagai akibatnya, daerah di sekitar pipa atau saluran pengumpanan di dalam digester mengalami penurunan derajat keasaman (pH) yang sangat nyata, sehingga dapat mengganggu berlangsungnya proses berikutnya, yaitu proses pembentukan gas metana. Jadi pada prinsipnya, sirkulasi mempunyai fungsi pokok sebagai pengencer umpan yang berkonsentrasi tinggi, pengatur pH, menstabilkan temperatur di sepanjang digester dan membantu proses pengadukan. Yang penting untuk diperhatikan adalah, bahwa kecepatan aliran sirkulasi ini tidak diperkenankan terlalu tinggi untuk menjaga supaya massa mikroorganisme yang sudah menempel pada permukaan bahan penyangga tidak terkelupas dan ikut terbuang bersama keluaran. Debit sirkulasi diijinkan sampai dengan 20 kali debit umpan ke dalam digester. Selain massa mikroorganisme yang terbentuk berupa lapisan tipis (*biofilm*) yang menempel pada permukaan bahan penyangga, juga terdapat massa mikroorganisme yang berupa gumpalan (*floc*) yang terletak di sela-sela bahan penyangga tersebut. Karena terdapat sejumlah besar massa mikroorganisme di dalam digester, maka kemampuannya untuk mereduksi kandungan bahan organik didalam limbah cair akan menjadi lebih besar.

2. Metodologi

2.1 Pengukuran Kinerja Digester Anaerob

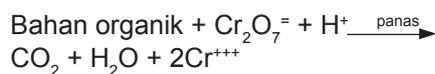
Kinerja digester anaerob dapat

dilakukan dengan beberapa pengukuran dari parameter pada substrat (influent), keluaran (effluent), yang terdiri dari produksi biogas dan limbah cair terolah, serta isi dari digester yang diambil contohnya dari pipa sirkulasi digester. Beberapa parameter penting tersebut adalah sebagai berikut:

COD, BOD, pH, Produksi Biogas, kandungan gas metana di dalam biogas

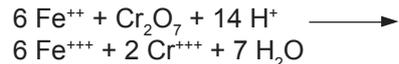
COD (Chemical Oxygen Demand) / Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK)

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan secara kimia untuk mengoksidasi bahan organik di dalam limbah cair. Proses oksidasi ini akan menghasilkan CO₂ dan air. Salah satu peralatan yang digunakan adalah metoda reflux terbuka di dalam larutan dichromat. Sedangkan peralatan lain adalah metoda pemasakan secara tertutup. Pemanasan menggunakan pemanas listrik (hot plate). Prosedur analisa, secara singkat adalah mencampurkan contoh (sample) ke dalam tabung yang sudah diisi dengan sejumlah tertentu reagen yang terdiri dari larutan standar potassium dichromat, asam sulfat dan perak sulfat. Campuran ini dipanaskan selama 2 jam pada suhu sekitar 148 °C. pada proses pemanasan ini sebagian besar bahan organik di dalam limbah cair akan terdegradasi sesuai dengan reaksi di bawah ini:



Setelah mengalami proses pemanasan, contoh kemudian diperlakukan dengan proses titrasi atau dapat juga menggunakan photometer dengan panjang gelombang tertentu. Apabila dilakukan dengan metoda titrasi, maka prosedur berikutnya adalah mengencerkan contoh dengan air distilasi. Setelah itu dititrasi untuk menghitung sisa senyawa dichromat yang tidak bereaksi dengan bahan organik. Titrasi menggunakan larutan standar fero ammonium sulfat

dengan indikator ferroin. Ion fero akan bereaksi dengan dichromat. Hasil akhir titrasi dicapai apabila terjadi perubahan warna dari hijau-biru ke coklat kemerahan. Reaksi tersebut di atas dapat digambarkan sebagai berikut:



Dalam analisa parameter COD ini mutlak harus mengukur sample blanko, yaitu dengan cara memasukkan air distilasi yang bebas dari kandungan bahan organik ke dalam campuran reagen yang sudah ditentukan. Dengan prosedur yang sama seperti di atas, maka sample blanko dapat ditentukan nilai COD nya. Maksud dari pengukuran sample blanko ini adalah untuk mengkompensasi seandainya di dalam reagen yang dibuat ada kandungan bahan organik. Nilai COD kemudian dihitung sebagai perbedaan antara titran yang digunakan untuk mentitrasi blanko dan titran yang digunakan untuk mentitrasi sample dibagi dengan volume sample dan dikalikan dengan normalitas titran. Angka pengali sebesar 8.000 menunjukkan hasil dalam satuan mg/liter oksigen. Satu liter adalah 1.000 ml, sedang berat ekivalen oksigen adalah 8. Rumus yang diterapkan adalah sebagai berikut:

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(\text{ml blanko} - \text{ml titran sample}) \times \{\text{normalitas Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2\} \cdot 8.000}{\text{ml sample}}$$

BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand) / Kebutuhan Oksigen Biologi (KOB)

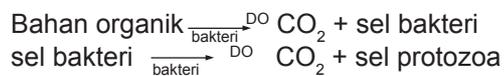
Analisa BOD₅ merupakan perkiraan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilisasi bahan organik di dalam limbah cair yang dapat didegradasi oleh populasi mikroba heterogen. Analisa dilakukan terhadap sample influent, isi digester, dan effluent. Analisa ini membutuhkan pengukuran oksigen terlarut di dalam sample sebelum dan sesudah

masa inkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C dan kemudian dihitung perbedaannya. Analisa BOD₅ ini dilakukan di dalam beberapa buah botol khusus, yaitu botol Winkler yang sudah mempunyai ukuran volume tertentu. Botol Winkler ini dilengkapi dengan bentuk mulut yang memungkinkan adanya seal air pada ujung botol. Seal air ini berfungsi untuk menahan udara keluar atau masuk botol selama masa inkubasi. Inkubasi harus dilakukan di tempat yang gelap, bebas dari sinar matahari maupun sinar lampu. Hal ini untuk mencegah terjadinya proses fotosintesa karena adanya bahan organik, mikroba dan oksigen terlarut. Inkubasi hendaknya dilaksanakan di dalam sebuah inkubator.

Air yang digunakan untuk pengenceran sebaiknya berasal dari air sumur yang diaerasi menggunakan udara tekan selama 2 hari berturut-turut untuk menghilangkan gas-gas yang tidak diinginkan selama dalam proses inkubasi. Selain itu, aerasi ini juga dimaksudkan untuk membuat air pengencer ini jenuh akan oksigen. Kemudian air pengencer ini diperkaya dengan buffer fosfat yang terdiri dari potasium dihydrogen phosphate, di-potasium hydrogen phosphate, di-sodium hydrogen phosphate. Kecuali buffer fosfat, juga diberi larutan-larutan ammonium chloride, magnesium sulfat, kalsium chloride dan feri chloride. Oksigen terlarut kemudian diukur dengan menggunakan metoda modifikasi azid. Sebelum dilakukan titrasi terhadap sample menggunakan sodium thiosulfate dan larutan tepung kanji (*amylum*) sebagai indikator, maka perlu ditambahkan mangan sulfat dan reagen alkali-iodide-azide. Alkali-iodid-azide ini terdiri dari sodium hidroksida, potasium iodide dan sodium azide. Untuk melarutkan gumpalan (*floc*) yang timbul, maka perlu ditambahkan asam sulfat pekat.

Kandungan bahan organik di dalam limbah cair merupakan makanan dari bakteri, sedangkan air pengencer akan menambah oksigen terlarut di dalam sample limbah cair. Secara garis besar, reaksi pertama yang

terjadi di dalam analisa ini adalah bahwa bakteri memetabolisme bahan organik dan oksigen yang terlarut sehingga akan melepas CO₂ sebagai hasil dari metabolisme dan bertambahnya populasi massa mikroba. Sedangkan reaksi yang kedua adalah dilakukan oleh bakteri protozoa. Pengurangan dari oksigen terlarut di dalam botol Winkler ini secara langsung berhubungan dengan jumlah bahan organik yang dapat didegradasi. Secara umum, reaksi biologi yang terjadi adalah sebagai berikut:



BOD dari limbah cair yang sudah mengandung mikroba di dalamnya, maka ke dalam sample ini tidak perlu dilakukan penambahan sumber mikroba dari luar, dengan demikian formulasi perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{BOD} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

Keterangan:

BOD = Biochemical Oxygen Demand (mg/L).
D₁ = Oksigen terlarut dari limbah cair pada awalnya, saat kurang lebih 15 menit (mg/L).

D₂ = Oksigen terlarut dari limbah cair setelah inkubasi selama 5 hari (mg/L).

P = Fraksi dari sample limbah cair yang digunakan, yang besarnya adalah perbandingan dari volume sample limbah cair dengan volume dari botol Winkler.

pH (konsentrasi ion hydrogen)

Terminologi pH digunakan untuk mengemukakan intensitas larutan dalam keadaan asam atau basa. Pengukuran pH ini biasa dilakukan dengan menggunakan pH meter yang hasilnya dapat dibaca langsung pada layar yang sudah tersedia. pH meter ini dilengkapi dengan elektroda gelas yang dicelupkan ke dalam limbah cair untuk mendeteksi ion hidrogen. Oleh karena itu

larutan standar untuk kalibrasi harus selalu tersedia.

Produksi Biogas

Produksi biogas dapat dideteksi menggunakan gasflowmeter. Berbagai macam gasflowmeter tersedia. Dalam percobaan di laboratorium, menggunakan gasflowmeter jenis basah yang hasilnya dapat langsung dibaca dari angka meter yang tercatat secara otomatis. Angka meter yang ada merupakan akumulasi dari waktu sebelumnya. Oleh karena itu, perlu melakukan pencatatan hasil biogas setiap waktu atau paling tidak dilakukan setiap hari pada waktu yang sama untuk mempermudah melakukan penghitungan hasil biogas.

Kandungan Gas Metana di dalam Biogas

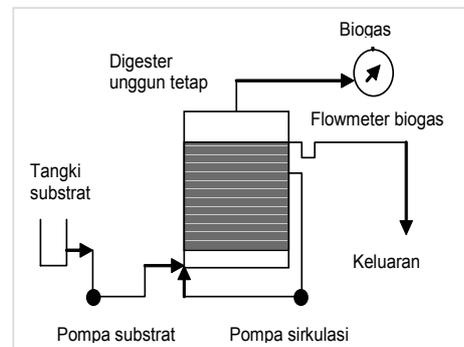
Gas metana diukur berdasarkan prinsip absorpsi dari gas CO_2 oleh reagen KOH dengan konsentrasi 10%. Cara pengukuran ini didasarkan pada asumsi bahwa biogas hanya terdiri dari gas metana dan gas karbon dioksida. Adanya gas-gas lain di dalam biogas dapat diabaikan. Salah satu bentuk alat (*absorber*) ini adalah menyerupai menara yang didalamnya sudah diisi dengan larutan KOH 10%. Hasil langsung yang dibaca adalah banyaknya gas CO_2 di dalam biogas. Persen metana merupakan hasil dari 100% dikurangi dengan persen karbon dioksida yang terbaca pada skala yang ada. Contoh biogas yang akan diukur kandungan gas metananya dipompakan ke dalam alat ini, kemudian dilakukan pengkocokan. Hasil akhir adalah persen CO_2 . Apabila larutan KOH sudah jenuh, maka harus ada penggantian dengan yang baru.

2.2 Rancangan Peralatan

Model fisik pemanfaatan dan pengolahan air limbah bioetanol ini terdiri dari tangki substrat, digester anaerob jenis fixed bed, pemipaan dan unit pemompaan. Tangki substrat terbuat dari polyethylene yang bervolume 225 liter. Tangki ini dilengkapi

dengan pompa pengumpanan ke digester anaerob dengan kapasitas 5 liter per menit. Pompa ini diatur pengoperasiannya menggunakan timer.

Sebelum dioperasikan, digester anaerobik diisi dengan starter berupa kotoran sapi sebagai sumber mikroba anaerob. Biogas yang dihasilkan kemudian diukur menggunakan gasflowmeter. Dari gasflowmeter, biogas diambil sampelnya untuk diukur kandungan gas metananya. Digester anaerob diisi dengan media berupa potongan pipa PVC. Potongan pipa PVC ini menyediakan volume kosong (*void volume*) sebesar 93%. Sedangkan volume total dari digester anaerob yang terbuat dari tangki polyethylene ini adalah 225 liter. Dengan demikian, volume efektif dari digester anaerob adalah $0,93 \times 225 \text{ liter} = 209 \text{ liter}$. Digester anaerob dioperasikan dengan moda *upflow*, yaitu umpan diberikan dari bawah dan mengalir ke atas. Keluaran atau effluent kemudian dilewatkan melalui siphon yang berfungsi sebagai seal agar supaya biogas tidak keluar melalui pipa keluaran. Diagram alir dari model fisik dapat dilihat pada gambar 1.



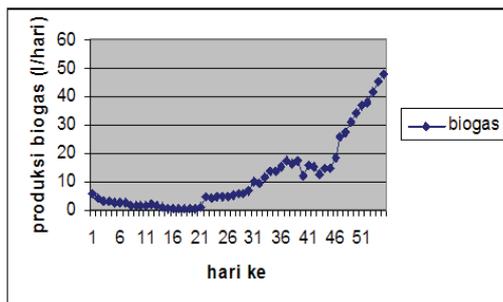
Gambar 1. Diagram Alir Skematik Model Fisik Proses Pengolahan dan Pemanfaatan Air Limbah Industri Bioetanol.

Substrat yang berasal dari proses distilasi didinginkan sampai dengan temperatur ambient. Substrat ini kemudian dimasukkan ke dalam tangki substrat dan

diumpangkan ke dalam digester anaerob menggunakan pompa yang bekerjanya diatur menggunakan pengatur waktu (*timer*). Di dalam digester anaerob dilengkapi dengan system sirkulasi menggunakan pompa yang bekerjanya juga diatur menggunakan timer. Keluaran atau effluent dari digester anaerob ini kemudian mengalir secara *overflow*.

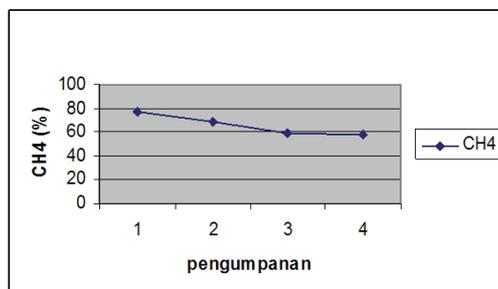
3. Hasil dan Pembahasan

Produksi biogas dari model fisik ini dapat dilihat pada gambar 2. Produksi biogas meningkat terus seiring dengan peningkatan pemberian substrat yang diumpangkan ke dalam digester. Substrat ini tidak mengalami *pre treatment* pada saat masuk ke dalam digester. Kondisi produksi biogas yang menurun secara drastis pada hari ke 40 disebabkan karena tidak tersedianya substrat yang diumpangkan ke dalam digester anaerob.



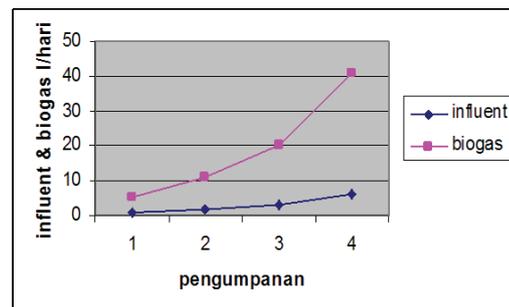
Gambar 2. Produksi Biogas.

Digester anaerob memberikan respon yang baik terhadap umpan yang diberikan.



Gambar 3. Kandungan Gas Metana di dalam Biogas.

Untuk mengevaluasi kinerja dari digester anaerob, maka dibagi dalam 4 (empat) prosedur pengumpanan berdasarkan 4 kali perubahan pengumpanan ke dalam digester (gambar 3). Kandungan gas metana di dalam biogas relative stabil, yaitu pada kisaran 58 hingga 77% volume. Kecenderungan turunnya kandungan gas metana ini menunjukkan bahwa proses yang terjadi di dalam digester anaerob dalam keadaan belum setimbang. Hasil ini berarti antara proses hidrolisa, pembentukan asam (pengasaman) dan proses metanogenesis (pembentukan gas metana) belum berjalan secara setimbang. Kandungan gas metana pada titik terendah masih mencapai 58% volume. Keadaan ini belum membahayakan system atau kinerja dari digester anaerob, sehingga dalam percobaan ini pengumpanan terus dilakukan untuk melihat kecenderungan biogas yang dihasilkan.



Gambar 4. Hubungan antara influent dengan produksi biogas.

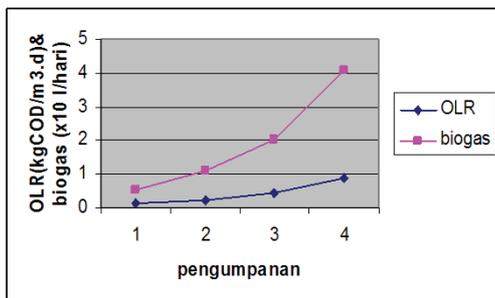
Gambar 4. menunjukkan bahwa penambahan influent ke dalam digester menghasilkan pertambahan biogas. Hal ini menunjukkan bahwa digester mempunyai respon yang baik terhadap penambahan substrat. Pada prosedur pengumpanan 1. substrat yang diberikan adalah 780 cc per hari. Dengan jumlah pengumpanan tersebut, maka biogas yang dihasilkan mencapai 5,47 liter dengan kandungan gas metana sebesar 77% volume. Pada prosedur pengumpanan ke 2. umpan yang diberikan

sebesar 1.560 cc per hari limbah cair, biogas yang dihasilkan sebesar 10,9 liter per hari dengan konsentrasi gas metana sebesar 69% volume. Pada prosedur pengumpanan 1. dan 2. tersebut dapat dihitung spesifik produksi setiap meter kubik vinasse, yaitu setiap 1 m³ limbah cair dari industri bioetanol berbasis ubi kayu ini akan menghasilkan sekitar 7 m³ biogas dengan kandungan gas metana rata-rata sekitar 73% volume.

Pada prosedur pengumpanan ke 3. umpan yang diberikan sebesar 3.125 cc per hari. Biogas yang dihasilkan sebesar 20,3 liter per hari dengan kandungan gas metana sebesar 59% volume. Sedangkan pada prosedur pengumpanan ke 4. diberikan umpan 6.250 cc limbah cair per hari dan menghasilkan biogas 40,6 liter per hari dengan kandungan gas metana sebesar 58% volume. Pada prosedur ke 3. dan ke 4. ini, satu meter kubik substrat menghasilkan biogas rata-rata sebesar 6,5 m³ dengan konsentrasi gas metana sebesar 58,5% volume.

Influent maksimum pada percobaan ini baru mencapai 6.250 cc per hari dengan volume efektif digester sebesar 209 liter. Dengan demikian, waktu tinggal substrat di dalam digester masih sangat lama, yaitu sekitar 33 hari.

Organic Loading Rate (OLR) adalah beban pengumpanan bahan organik yang diukur baik dari besaran COD maupun BOD ke dalam digester anaerob. OLR dikemukakan dalam bentuk formula sebagai berikut:



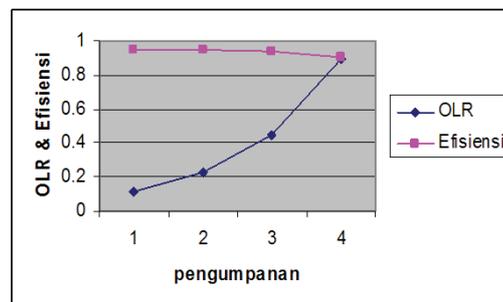
Gambar 5. Hubungan Antara OLR dengan Produksi Biogas.

$$OLR = \frac{C \times Q}{V}$$

Dimana:

- OLR = Organic Loading Rate (kg COD/ m³.hari atau kg BOD/m³.hari).
- C = Konsentrasi umpan (kg/m³).
- Q = Debit pengumpanan (m³/hari).
- V = Volume efektif dari digester anaerob (m³).

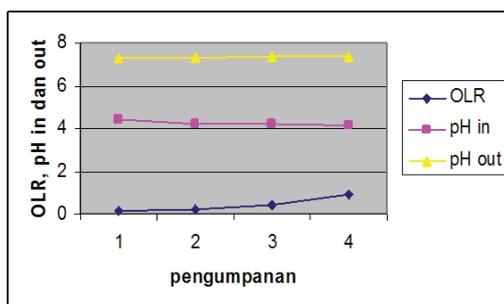
Dengan naiknya OLR yang dimasukkan ke dalam digester, maka biogas yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa massa mikroba yang ada, tumbuh dan menempel pada permukaan media potongan PVC mampu mendegradasi bahan organik yang diumpankan ke dalam digester. Minimum OLR yang diumpankan pada percobaan ini adalah sebesar 0,11 kgCOD/m³.hari, sedangkan beban maksimum adalah 0,9 kgCOD/m³.hari. OLR tersebut masih dapat dinaikkan lagi



Gambar 6. Hubungan Antara OLR dengan Efisiensi Proses.

Gambar 6. menunjukkan bahwa pada prosedur pengumpanan 1., 2., dan 3., terlihat efisiensi proses dalam keadaan konstan, yaitu sekitar 94%. Efisiensi yang tinggi ini membuktikan bahwa kinerja digester anaerob sangat bagus. Pada prosedur pengumpanan ke 4., efisiensi digester mengalami penurunan hingga menjadi 90%. Hal ini disebabkan karena OLR yang diumpankan sebesar 2 kali lipat

OLR sebelumnya. Sepertinya digester anaerob ini mengalami sedikit guncangan pengumpanan, ada respon dari massa mikroba di dalam digester. Tetapi hal itu tidak banyak mempengaruhi kinerja dari digester, karena efisiensinya, walaupun mengalami penurunan, masih dalam taraf yang wajar. Dengan efisiensi 90% tersebut, maka kinerja digester anaerob masih sangat baik. Dengan demikian, OLR digester ini masih dapat ditingkatkan. Peningkatan OLR ini masih dianggap wajar sampai dengan efisiensi digester mencapai 60%. Sesudah mencapai 60%, maka OLR sudah diasumsikan pada keadaan maksimum. Selain itu, apabila efisiensi ada di bawah 60%, maka kondisi digester harus sudah diwaspadai dan monitoring pengumpanan, sirkulasi, produksi biogas, dan pH effluent maupun sirkulasi harus lebih ketat dan teliti lagi. Hal ini perlu dilakukan dalam rangka menjaga kinerja dari digester anaerob supaya selalu dalam keadaan setimbang. Tetapi efisiensi yang paling aman adalah pada 70%. Pada tingkat efisiensi ini, digester dalam keadaan yang baik dan monitoring tidak perlu terlalu ketat. Namun demikian, OLR akan menjadi sedikit berkurang pada saat digester mempunyai tingkat efisiensi 60%. Sebagai akibatnya, waktu tinggal dari substrat di dalam digester akan sedikit lebih lama.



Gambar 7. Hubungan antara OLR dengan pH influent dan effluent.

Sebagaimana sudah dikemukakan di atas, bahwa OLR pada percobaan ini mencapai 0,9 kgCOD/m³.hari. OLR

ini sesungguhnya masih terlalu kecil diaplikasikan ke dalam digester anaerob. Aplikasi OLR maksimum untuk digester anaerob ini adalah sebesar 5 kgCOD/m³.hari. Dengan OLR sebesar itu, maka substrat yang dimasukkan ke dalam digester akan sebesar 34,8 liter per hari. Dengan demikian, waktu tinggal dari substrat akan mencapai sekitar 6 hari. Derajat keasaman (pH) dari influent ini sekitar 4. Substrat dengan keasaman tersebut tidak dikondisikan saat masuk ke dalam digester. Hal ini mengingat apabila substrat dikondisikan menggunakan larutan basa, maka di dalam operasional pada skala penuh akan memerlukan banyak larutan basa yang harus dipersiapkan. Sebagai akibatnya adalah biaya operasional digester ini akan meningkat. Derajat keasaman yang rendah ini dapat diatasi dengan proses resirkulasi substrat di dalam digester yang diambil saat substrat akan keluar ke arah siphon. Substrat yang mau keluar ini disirkulasikan ke arah influent. Dengan demikian, pH influent yang memang sudah asam akan mengalami proses pengenceran dan akibatnya, pH campuran ini akan meningkat. Tindakan resirkulasi ini mutlak diperlukan untuk pengkondisian lingkungan di dalam digester anaerob. Seperti terlihat pada gambar 7., pH effluent sudah menunjukkan netral (sekitar 7). Apabila substrat pada pH netral ini disirkulasikan kemudian bercampur dengan influent, maka pH seluruh isi digester akan meningkat. Tetapi apabila tidak ada mekanisme sirkulasi, maka dapat dipastikan bahwa digester akan mengalami kegagalan operasional dan kinerjanya menjadi sangat buruk, bahkan kemungkinan besar massa mikroba di dalam digester akan mengalami kematian.

Derajat keasaman (pH) air limbah terolah (*effluent*) tidak terpengaruh oleh meningkatnya OLR. Karena OLR maksimum pada percobaan ini masih sangat rendah, sehingga digester masih dengan mudah mendegradasi bahan organik yang ada di

dalam air limbah. Pada saat mengoperasikan digester dengan skala penuh, maka apabila pH larutan di dalam digester sudah mencapai 6,5; maka kondisi digester perlu diwaspadai. Cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengurangi OLR atau jumlah umpan yang masuk ke dalam digester atau malah menghentikannya sama sekali. Tindakan ini diperlukan untuk memulihkan kembali kondisi di dalam digester supaya pH tidak turun terus menerus. Pada kondisi pH yang netral ini, kondisi digester anaerob belum sampai pada titik yang berbahaya, artinya massa mikroba di dalam digester masih sangat kekurangan substrat.

4. Kesimpulan dan Saran

Selama percobaan berlangsung, digester anaerob mempunyai kinerja yang baik. Dengan laju pengumpanan yang terus ditingkatkan, massa mikroba dapat merespon dengan cepat yang ditandai dengan meningkatnya produksi biogas. Efisiensi biodegradasi yang masih tinggi menandakan bahwa laju pengumpanan masih dapat ditingkatkan. Dengan percobaan

ini maka dapat disimpulkan bahwa air limbah industri etanol dapat dipakai sebagai bahan baku pembuatan biogas.

Pemanfaatan biogas yang dihasilkan perlu dipertimbangkan. Penggunaannya antara lain adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit uap pada boiler. Dengan demikian, energi berbasis fosil yang biasa dipergunakan untuk proses distilasi dapat dihemat penggunaannya.

Daftar Pustaka

1. Adams, C.E., D.L. Ford, dan W.W. Eckenfelder, Jr. 1981. *Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment*, Enviro Press, Inc. Nashville.
2. APHA, AWWA, and WEF., 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Victor Graphics, Inc. Baltimore.
3. Hammer, M.J. ,1977. *Water and Wastewater Technology*. John Wiley & Sons, Inc. New York