POTENSI BIOGAS LIMBAH TAHU MENGGUNAKAN DIGESTER TIPE *BATCH* SIRKULASI *LIQUID* PADA SUHU 35 °C – 40 °C

Tina Mulya Gantina dan Hendri Pratama.
Jurusan Teknik Konversi Energi - Politeknik Negeri Bandung
tinapolban@yahoo.co.id

Abstrak

Limbah cair dan limbah padat industri tahu masih memiliki kandungan senyawa organik yang cukup tinggi dan jika dimanfaatkan dengan baik dapat berpotensi menghasilkan biogas. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan biogas dari limbah industri tahu dengan menggunakan dua buah digester tipe batch sistem sirkulasi liquid yang dioperasikan secara berkesinambungan dengan masing-masing bervolume digester 36 liter serta dilakukan pengaturan suhu pada 35 °C – 40 °C. Percobaan dilakukan dengan menggunakan komposisi bahan masukan 40 % limbah cair tahu, 30 % limbah padat tahu, dan 30 % bioactivator sludge kotoran sapi, serta waktu degradasi selama 36 hari. Dari hasil pengujian diperoleh volume biogas total sebesar 26,7 liter, komposisi CH₄ maksimum sebesar 16,89 % dan potensi energi maksimum sebesar 26,39 kJ yang dicapai pada hari ke-15 dengan total potensi energi biogas yang dihasilkan sebesar 128.59 kJ. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu dengan menggunakan sistem sirkulasi liquid tanpa pengaturan suhu dan dengan sistem batch sederhana, maka hasil penelitian ini lebih baik.

Kata kunci: biogas, limbah tahu, digester sirkulasi liquid, suhu 35 °C – 40 °C.

PENDAHULUAN

Dewasa ini dunia dihadapkan pada masalah global yang serius yaitu kelangkaan sumber energi fosil. Krisis energi ini dipicu dari pertumbuhan populasi manusia secara global dan berkembang teknologi baru yang membutuhkan energi listrik dalam melakukan kinerja aplikasinya. Kegiatan penduduk dunia yang terkonsentrasi pada pemanfaatan sumber energi berupa minyak bumi harus dikurangi, karena cadangan minyak bumi semakin menipis. Hal ini yang menyebabkan para ahli dan ilmuwan terpacu untuk menemukan sumber-sumber energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi besar, ramah lingkungan, murah dan bersifat dapat diperbaharui adalah biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik sebagai akibat aktivitas mikroorganisme anaerob. Zat hasil metabolisme mikroba umumnya merupakan senyawa yang mengandung hidrogen, seperti etanol, metanol, atau gas metan. Mikroorganisme yang berperan dalam produksi gas metan antara lain bakteri *Methanobacterium*, *Methanosarcia*, *Methanococcus*.

Pada umumnya bahan organik yang digunakan dalam pembuatan biogas adalah limbah bahan

organik makhluk hidup, terutama kotoran ternak, kotoran manusia, limbah industri tahu, limbah makanan, tumbuhan eceng gondok, limbah pertanian dan lain sebagainya.

Pemanfaatan limbah industri tahu merupakan salah satu cara untuk memproduksi energi terbarukan. Industri tahu skala rumah tangga di Indonesia yang tidak memiliki pengolahan limbah sisa produksi masih cukup banyak, padahal limbah industri tahu memiliki kandungan senyawa organik tinggi dan jika dimanfaatkan dengan baik dapat berpotensi menghasilkan biogas. Di samping itu, keuntungan lain dari proses pembuatan biogas juga merupakan proses pengolahan limbah, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Limbah industri tahu pada dasarnya hanya mengandung zat-zat organik yang dengan pengolahan sederhana atau secara biologi dapat menghilangkan polutan yang terdapat di dalamnya. Penguraian polutan tersebut dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen bebas atau secara anaerob.

Digester merupakan tempat terjadinya proses anaerob. Saat ini biogas mulai terus dikembangkan baik dari segi pengembangan bahan maupun dari pengembangan sistem. Digester sirkulasi *liquid* dengan fermentasi kering (*dry fermentation with liquid*

circulation) adalah salah satunya. Sistem biogas ini telah banyak dikembangkan di negara maju, contohnya negara Jerman. Selama proses berlangsung, cairan yang turun/keluar dari bahan akan ditampung dan disirkulasikan kembali kedalam digester dengan sistem sirkulasi *liquid*. Karena itu kandungan cairan pada bahan masukan tetap merata sehingga aktivitas bakteri terutama bakteri *methanogenesis* tetap terjaga keaktifannya dan produksi biogas pun dapat tetap berlangsung.

Selain kandungan cairan bahan masukan digester, suhu lingkungan digester pun menjadi faktor yang berpengaruh besar terhadap aktivitas bakteri. Temperatur optimum untuk digester berkisar antara 30°C sampai dengan 40°C yang termasuk *mesophilic temperature*. Starter (*bioactivator*) dalam memproduksi biogas perlu digunakan, tanpa *bioactivator* maka biogas yang dihasilkan kurang optimal. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metan (CH_4).

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan pembuatan biogas dari limbah sayuran dengan menggunakan digester tipe *batch* sistem sirkulasi *liquid* tanpa pengaturan suhu, dan dihasilkan gas metan (CH_4) maksimal sebesar 8,2 % pada hari ke-52 (Dzikri, 2011) dan pada limbah makanan dihasilkan gas metan maksimal sebesar 1,2% pada hari ke 48 (Rohman, 2011). Sedangkan penelitian pada pembuatan biogas dari limbah industri tahu yang menggunakan digester tipe *batch* sederhana, hanya menghasilkan gas metan (CH_4) maksimal sebesar 3,83 % (Wiwin, 2009). Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan pembuatan biogas dari limbah industri tahu dengan menggunakan digester sistem sirkulasi *liquid* dan pengaturan suhu pada *mesophilic temperature* sekitar 35-40°C. Dengan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas gas metan (CH_4) yang dihasilkan, sehingga potensi energi biogasnya menjadi lebih tinggi.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan alat penghasil biogas (digester) dengan sistem sirkulasi *liquid* menggunakan dua digester yang

bekerja secara berkesinambungan. Pada tipe digester biogas ini terdapat beberapa komponen penting, yaitu digester tipe *batch* dengan volume 36 liter, penampung gas, penampung cairan, pompa dan sistem pemipaan yang lengkap dengan *valve* serta sambungan pipa. Bahan baku yang digunakan adalah campuran 40% limbah cair tahu, 30% limbah padat tahu dan 30% *bioactivator* alami berupa *sludge* kotoran sapi. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Termal (Lab. Bawah) Jurusan Teknik Konversi Energi dengan waktu pelaksanaan selama kurang lebih 1 bulan.

Tahapan Penelitian

Dalam membuat digester biogas dengan 2 digester tipe *batch* sistem sirkulasi *liquid* secara berkesinambungan, terdapat beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.

Gambar 1. Alur pembuatan digester dan biogas

Desain Alat

Desain digester biogas dengan 2 digester tipe *batch* sistem sirkulasi *liquid* secara berkesinambungan ditunjukkan pada skematik Gambar 2 dibawah ini.

Gambar 2. Skema digester sistem sirkulasi *liquid* dengan inkubator pengaturan suhu

Keterangan:

- Dua buah digester dengan sistem sirkulasi *liquid* yang dioperasikan secara berkesinambungan;
- Inkubator pengaturan suhu lingkungan digester pada 35°C-40°C;
- Tempat penampungan cairan keluaran dari bahan masukan;
- Tempat penampungan gas;
- Pemipaan dan pompa sirkulasi.

Pembuatan Inkubator Pengaturan Suhu

Untuk pengaturan temperatur digester, dipasang elemen pemanas (*heater*) yang ditempatkan pada sebuah kotak tempat menyimpan digester. Kotak tersebut terbuat dari papan dan dilapisi isolasi dari *sterofoam* pada setiap sisinya dan menyerupai inkubator. Pada salah satu sisi kotak dilubangi seukuran pipa yang menuju penampung fluida. Elemen pemanas terbuat dari rangkaian listrik yang terdiri dari 6 buah lampu pijar 40 Watt. Digester dikondisikan di dalam inkubator pada suhu 35°C - 40°C, untuk menjaga kelangsungan hidup bakteri *mesophilic*.

Sistem Kerja Alat

Setelah bahan-bahan pembuat biogas dimasukkan ke dalam digester, maka perlahan-lahan fasa cairan (*liquid*) dari bahan akan turun dan masuk ke dalam penampung cairan dengan melalui saringan. Selanjutnya pompa dioperasikan sehingga cairan dalam penampung akan naik

menuju digester dan disebarkan kembali ke dalam bahan pembuat biogas.

Pada saat pengoperasian alat ini perlu diperhatikan bukaan katup pada saluran air sirkulasi dan saluran gas. Ketika hanya digester 1 yang beroperasi maka katup saluran air sirkulasi menuju digester 2 harus ditutup untuk mencegah cairan dari penampung tidak masuk ke digester 2 dan untuk menghindari masuknya udara ke dalam sistem. Begitupun dengan saluran gas dari digester 2 harus ditutup rapat untuk menghindari masuknya gas dari penampung gas ke dalam digester 2.

Sedangkan ketika kedua digester beroperasi secara bersamaan, maka semua katup baik pada saluran air sirkulasi maupun saluran gas harus terbuka sehingga ketika cairan disirkulasikan, maka cairan akan masuk menuju digester 1 dan digester 2 secara bersamaan dan gas yang dihasilkan dari kedua digester akan menuju ke penampung gas. Sementara itu juga, inkubator pengatur suhu dikondisikan pada 35°C-40°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi dan Karakteristik Bahan

Limbah padat dan limbah cair tahu untuk bahan masukan digester diambil dari Desa Cibuntu yang merupakan pusat industri tahu di Kota Bandung. Sedangkan *bioactivator* yang digunakan adalah *sludge* kotoran sapi yang merupakan lumpur keluaran dari digester biogas kotoran sapi yang berlokasi di daerah Lembang Kabupaten Bandung Barat.

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Buangan Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITB, karakteristik bahan masukan digester berupa campuran limbah cair tahu 40%, limbah padat tahu (30%) dan *sludge* kotoran sapi (30%) adalah ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa kandungan air bahan cukup besar yaitu 90,85%, dengan demikian kandungan padatannya cukup kecil yaitu 9,15%. Kadar air ini sangat penting dan berpengaruh terhadap aktivitas bakteri anaerobik di dalam digester. Apabila kadar air terlalu kecil maka bakteri anaerobik kesulitan untuk mengdegradasi bahan dalam digester. Menurut EPA USA 2002 [Prometheus, 2005], disarankan agar digester biogas menggunakan

slurry dengan kandungan padatan maksimal 12,5%. Oleh karena itu, kandungan padatan bahan masukan sudah cukup baik karena berada dibawah 12,5%.

Tabel 1. Karakteristik bahan masukan digester

No	Jenis Analisa	Satuan	Hasil Analisa
1	C-Organik	% BK	44,98
2	Nitrogen Total Kjeldhal (NTK)	% BK	0,48
3	pH	-	5,89
4	Kadar Air	% BB	90,85
5	Berat Jenis	gr/cm ³	1,09
6	C/N Ratio	-	93,71

Catatan: BK = Berat kering, BB = Berat basah

Sedangkan nilai pH bahan adalah 5,89, hal ini kurang optimum karena pH optimum bahan masukan adalah 7 hingga 8,5 (Suyitno, 2010). Selain itu, nilai rasio C/N bahan adalah sebesar 93,71. Hal ini terlalu tinggi dan tidak optimum, karena rasio C/N yang optimum adalah pada kisaran 20-30 (Sasse, 1988). Nilai rasio C/N ini sangat berpengaruh terhadap aktivitas bakteri dalam membentuk metan. Apabila rasio C/N tinggi, nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh mikroorganisme hingga batas persyaratan protein dan tak lama akan bereaksi ke arah kiri pada kandungan karbon dalam bahan. Sebagai akibatnya produksi metan menjadi tidak maksimal (Suyitno, 2010). Sebaliknya ketika rasio C/N rendah, nitrogen akan bebas dan berakumulasi dalam bentuk amoniak yang akan meningkatkan nilai pH bahan, dan ketika pH lebih tinggi dari 8.5 akan mulai menghasilkan racun bagi bakteri *Methanogenesis*.

Produksi Biogas

Proses pengisian bahan terbagi menjadi 2 tahap yaitu pertama pada digester 1 yang lebih awal beroperasi dan dilanjutkan pada digester 2 yang beroperasi saat digester 1 sudah beroperasi selama 13 hari. Gambar 3 menunjukkan volume biogas terukur dan volume biogas akumulasi dari kedua digester selama 36 hari. Pada Gambar 3 terlihat bahwa total produksi biogas pada kedua digester selama 36 hari adalah sebesar 26,66 liter. Sedangkan volume biogas harian tertinggi yaitu sebesar 4,22 liter/tiga hari terjadi pada hari ke-15.

Gambar 3. Volume biogas harian dan akumulasi biogas terhadap waktu degradasi

Dari data di atas terlihat bahwa penelitian ini sesuai dengan teori yang di ungkapkan Fry (1973) pada sistem *batch*, apabila bakteri bekerja pada temperatur 35 °C - 40 °C (bakteri *mesophilic*) produksi gas berjalan dengan cepat tetapi untuk selanjutnya produksi gas akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pada rentang suhu tersebut bakteri akan sangat aktif mendegradasi bahan dan nutrisi sehingga bahan yang ada di dalam digester cepat habis dan lama-kelamaan bakteri *mesophilic* akan kehabisan nutrisi dan mati.

Dari hasil pengujian juga diperoleh total volume biogas sistem saat hanya digester 1 beroperasi sebesar 5,27 liter sampai hari ke-12. Dengan demikian rata-rata produksi biogas pada digester 1 sebesar 439 mL/hari. Sedangkan setelah digester 1 dikombinasikan dengan digester 2 jumlah total volume biogas menjadi 26,66 liter. Maka rata-rata produksi biogas sistem ini adalah sebesar 740 mL/hari.

Komposisi Biogas

Berdasarkan hasil pengujian komposisi biogas yang dilakukan di Laboratorium Teknologi X Departemen Teknik Kimia ITB, diperoleh komposisi biogas pada digester tipe *batch* sistem sirkulasi *liquid* seperti pada Gambar 4. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa komposisi biogas yang dihasilkan sistem terdiri atas gas CH₄, O₂, N₂, H₂ dan CO₂, dengan komposisi biogas masih didominasi oleh gas N₂ dan CO₂.

Gambar 4. Komposisi biogas terhadap waktu degradasi

Kandungan gas metan (CH₄) telah terbentuk pada hari ke-4 yaitu sebesar 13,96%. Selanjutnya pada hari ke-12 diperoleh kandungan CH₄ sebesar 12,66%, dan persentase kandungan CH₄ maksimal terjadi pada hari ke-15 yaitu sebesar 16,89%.

Berdasarkan data komposisi biogas, pada penelitian ini diperoleh komposisi gas metan terbesar yang masih rendah (hanya 16,89%), padahal menurut teori (Meynell, 1976) kandungan biogas dapat dikatakan baik apabila biogas mengandung persentase gas metan (CH₄) sebesar 55-75 %. Dengan demikian penelitian ini masih kurang optimal.

Oleh karena itu, potensi biogas dari limbah industri tahu ini dapat lebih dioptimalkan lagi, diantaranya dengan memaksimalkan beberapa perlakuan awal bahan agar karakteristik C/N rasio, kadar air, dan pH bahan menjadi optimal, atau dengan cara pemilihan teknologi dari sistem biodigester.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, biogas dari limbah sayuran dengan menggunakan digester tipe *batch* sistem sirkulasi *liquid* tanpa pengaturan suhu dihasilkan gas metan (CH₄) maksimal sebesar 8,2 % pada hari ke-52 (Dzikri, 2011), pada limbah makanan dihasilkan gas metan maksimal sebesar 1,2% pada hari ke 48 (Rohman, 2011), dan biogas dari limbah industri tahu menggunakan digester tipe *batch* sederhana hanya menghasilkan gas metan (CH₄) maksimal sebesar 3,83 % (Wiwin, 2009). Dengan demikian komposisi gas metan yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya.

Nilai Kalor dan Potensi Energi Biogas

Berdasarkan data volume dan komposisi biogas pada Gambar 3 dan 4, serta nilai kalor (LHV) gas CH₄ murni sebesar 55000 kJ/kg atau 37018,50 kJ/m³, maka dapat dihitung nilai kalor biogas dan potensi energi biogas yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.

Gambar 5. Nilai kalor biogas terhadap waktu

Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai kalor biogas terbesar terjadi ketika kandungan gas metan (CH₄) tertinggi, yaitu pada hari ke-15 dengan nilai kalor biogas sebesar 6252 kJ/m³. dan nilai kalor biogas rata-rata sekitar 5000 kJ/m³.

Gambar 6. Potensi energi biogas terhadap waktu

Sedangkan pada Gambar 6, terlihat total potensi energi biogas sampai hari ke 36 adalah sebesar 128,59 kJ, sedangkan potensi energi biogas tertinggi yaitu sebesar 26,39 kJ terjadi pada hari ke-15. Potensi energi biogas tertinggi ini juga terjadi bersamaan dengan kandungan gas metan (CH₄) terbesar yaitu sebesar 16,89% pada hari ke 15.

KESIMPULAN

Pada pembuatan biogas dari limbah industri tahu dengan pengaturan suhu lingkungan pada 35°C-40°C (*mesophilic temperature*) menggunakan digester sistem sirkulasi *liquid* volume 36 liter dengan waktu degradasi selama 36 hari,

diperoleh total volume biogas sebesar 26,7 liter, dengan rata-rata produksi biogas adalah sebesar 740,56 mL/hari.

2. Kandungan CH₄ maksimum yang dihasilkan terjadi pada hari ke-15 yaitu sebesar 16,89%, dengan nilai kalor sebesar 6252.42 kJ/m³ dan total potensi energi biogas sampai hari ke 36 sebesar 128,59 kJ. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto. 2007. *Energi: Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia*. Yogyakarta, P.T. Pustaka Widyatama.
- Fry, L.J. 1973. *Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer*. Tersedia (online): http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MDI.html. (di akses pada 4 Juni 2011).
- Gunnerson, C.G., and D.C. Stuckey. 1986. *Intregated Resources Recovery Anaerobic Digestion Principles and Practices for Biogas System*. World Bank Technical Paper Number 49. Washington DC.
- Gustaf, Deny Mugitawakal. 2011. *Perbandingan Potensi Biogas dari Limbah Sayuran dan Sampah Makanan dengan Menggunakan Digester Tipe Batch Sirkulasi Liquid*. Bandung, Politeknik Negeri Bandung.
- Kamarudin, A., Abdul. dkk. 1995. *Energi dan Listrik Pertanian, Academic Development of The Graduate Program*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Meynell, P.J. 1976. *Methane: Planning a Digester*. Great Britain, Prism Press.
- Omar, Harun. 2008, *Anaerobic Threatment of Cattle Manure for Biogas Production*. Kuala Lumpur, University Putra Malaysia. Tersedia (online): <http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas> (4 Juni 2011).
- Rusmiati, Wiwin. 2009. *Potensi Limbah Cair dan Limbah Padat Industri Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Digester Tipe Batch*. Bandung, Politeknik Negeri Bandung.
- Sufyandi, Buyung. 2001. *Bakteri dan Mikroorganisme Pembuat Biogas*. Tersedia (online):. (di akses pada 4 Juni 2011).
- TNS, Looock Biogassysteme-Hamburg. 1988. *The Looock system produces biogas and compost from biomass with the Looock TNS dryfermentation process*. Hamburg.
- TNS, Looock Biogassysteme-Hamburg. 1988. *Effiziente Vergarung von Grassilage mit dem Looock Trocken-Nass-simultean-(TNS) Verfahren: Projeckt Biokraftwerksring Scheswig-Holstein*. Hamburg.