

PENGARUH pH DAN RASIO COD:N TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DENGAN BAHAN BAKU LIMBAH INDUSTRI ALKOHOL (VINASSE)

Gita Khaerunnisa (L2C009027) dan Ika Rahmawati (L2C009090)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058
Pembimbing: Dr. Ir. Budiyono, M. Si

Abstrak

Limbah industri etanol, yaitu vinasse merupakan salah satu sumber yang berpotensi untuk diolah menjadi biogas. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi limbah vinasse dan perbandingan nutrisi yang dibutuhkan untuk mendapatkan biogas dengan hasil yang optimum. Percobaan dilakukan dalam digester volume 5L, dioperasikan pada suhu kamar dan pH netral dengan memvariasikan perbandingan COD:N 800:7, 900:7, 1000:7 pada campuran vinasse, rumen, urea dan juga campuran vinasse, rumen, serta NH_4HCO_3 dalam waktu 30hari. Respon yang diambil pada penelitian ini adalah pengaruh pH, perbandingan COD:N dan penggunaan nutrisi terhadap produksi biogas. Kondisi pH yang optimum dalam menghasilkan biogas adalah pada pH 7 atau hanya dilakukan penetralan di awal. Produksi biogas optimum dihasilkan pada perbandingan COD:N 800:7 yaitu sebesar 280 ml (0,96 ml biogas/mg TS COD) pada campuran vinasse, rumen, urea dan 3839 ml (13,17 ml biogas/mg TS COD) pada campuran vinasse, rumen, NH_4HCO_3 . Sementara campuran vinasse, rumen, serta NH_4HCO_3 menghasilkan biogas lebih banyak dibanding campuran vinasse, rumen dan urea.

Kata kunci: biogas; COD:N; vinasse; urea; NH_4HCO_3

Abstract

Industrial waste ethanol, which vinasse is one potential source to be processed into biogas. This study was conducted to assess the potential of vinasse waste and comparison nutrients needed to obtain biogas with optimum results. Experiments conducted in the digester volume 5L, operated at room temperature and neutral pH by varying the ratio of COD: N: P 800:7, 900:7, 1000:7 on vinasse mixture, rumen, urea and vinasse mixture, rumen, and NH_4HCO_3 within 30 days. Respons which taken from this research are influence of pH, ratio of COD:N and nutrition to biogas production. The optimum condition of pH in producing biogas is at 7. Production of biogas produced at the optimum ratio of COD: N: P 800:7 is equal to 280 ml (0,96 ml biogas/mg TS COD) in a mixture of vinasse, rumen, urea and 3839 ml (13,73 ml biogas/mg TS COD) in a mixture of vinasse, rumen, NH_4HCO_3 due to the comparison easier bacteria decompose organic compounds. While vinasse mixture, rumen, and NH_4HCO_3 produces more biogas than vinasse mixture, rumen, urea may be due NH_4HCO_3 to maintain the pH range so that the bacteria can survive.

Key Words: biogas; COD:N; vinasse; urea; NH_4HCO_3

1. Pendahuluan

Seiring dengan krisis energi di dunia, banyak penelitian dilakukan untuk mencari energi alternatif yang dapat terbarukan (*renewable resources*). Indonesia memiliki banyak keanekaragaman hayati, di antaranya adalah tebu (sugar cane) yang mendorong cukup banyaknya industri gula dan industri etanol. Industri-industri ini cukup berkembang di Indonesia. Namun, yang menjadi permasalahan baru adalah limbah yang dihasilkan dari produksi etanol.

Limbah vinasse merupakan limbah hasil penyulingan yang memiliki daya polusi tinggi dan nilai pemupukan yang tinggi. Kekuatan polusinya mencapai 100 kali lebih kuat daripada limbah domestik, kaya bahan organik dan memiliki BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi. Oleh karena itu, limbah vinasse ini tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan karena rendahnya kemampuan degradasi atau pengurangan kadar logam dan nonorganik pada limbah vinasse tersebut. Beberapa peneliti terdahulu telah

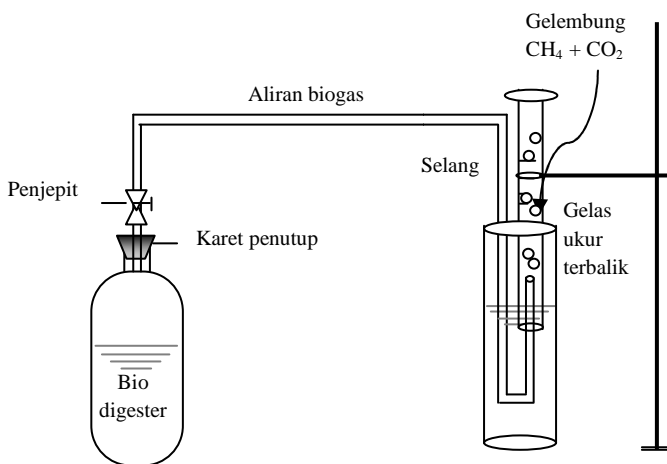
melakukan penelitian yang berkaitan dengan pembuatan biogas, di antaranya Cortella dan da Porto (2002) melakukan penelitian pemurnian etanol dengan mengaplikasikan McCabe-Thiele pada kolom distilasi yang dirancang dengan menggunakan 10 tray untuk mendapatkan etanol 80% berat. Stampe dkk. (1983) melakukan penelitian yang mempelajari konsumsi energi pada farm-scale distillation, dengan cara menghitung suhu, pada kolom bagian stripping pada 94,4°C, 95 °C dan 95,6°C serta menghitung energi yang dibutuhkan. Soeprijanto dkk. (2010) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari performa dari bioreaktor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) untuk mengkonversi limbah cair vinasse menjadi biogas dan material-material sederhana. Bioreaktor diinokulasi dengan 4 L lumpur aktif dari bioreaktor UASB. Bioreaktor ini dioperasikan pada volume 9 L. Dari penelitian terdahulu, metode yang digunakan memerlukan investasi yang besar. Oleh karena itu diperlukan kombinasi metode yang efektif dan murah untuk menangani limbah *vinasse* dengan terlebih dahulu mempelajari karakteristik dari limbah tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pH dan perbandingan nutrisi terbaik untuk menghasilkan biogas optimum serta untuk mengetahui biogas yang dihasilkan setiap harinya.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah vinasse, rumen, urea, NH_4HCO_3 , NaOH, dan aquades. Vinasse didapatkan dari Desa bekonang, Solo, Jawa Tengah.

Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat digambarkan secara umum seperti pada gambar berikut:



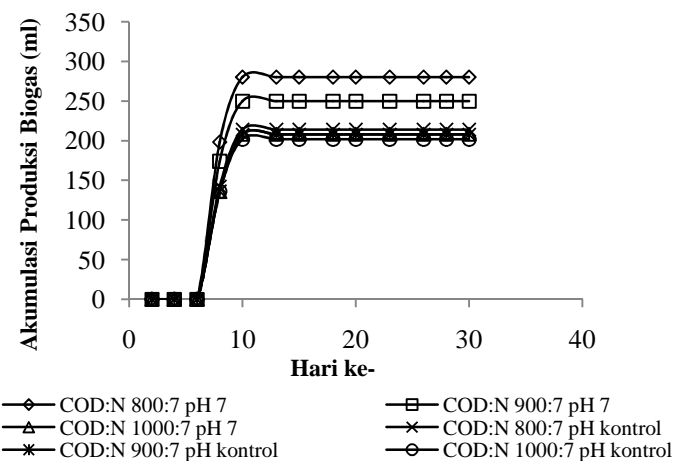
Gambar 1. Gambar Rangkaian Alat

Percobaan dilakukan dalam digester volume 5L dan dioperasikan pada suhu kamar dengan memvariasikan perbandingan COD:N yang dilakukan pada 12 tangki. Tangki 1, 2, 3 berisi vinasse, rumen, dan urea dengan perbandingan COD:N sebesar 800:7, 900:7, serta 1000:7 dengan pH awal 7. Tangki 4, 5, 6 berisi vinasse, rumen, dan urea dengan perbandingan COD:N sebesar 800:7, 900:7, serta 1000:7 dengan pH awal 7 dan setiap empat hari sekali digester tersebut akan dibuka untuk dilakukan penetralan pH. Tangki 7, 8, 9 berisi vinasse, rumen, serta buffer NH_4HCO_3 dengan perbandingan COD:N sebesar 800:7, 900:7, serta 1000:7 dengan pH awal 7. Sedangkan tangki 10, 11, 12 berisi vinasse, rumen, serta buffer NH_4HCO_3 dengan perbandingan COD:N sebesar 800:7, 900:7, serta 1000:7 dengan pH awal 7 dan setiap empat hari sekali digester tersebut akan dibuka untuk dilakukan penetralan pH.

Penetralan pH dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 1N dan pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter elektrik. Pengukuran biogas dilakukan setiap 2 hari sekali.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Pengaruh pH terhadap Produksi Biogas



Gambar 2 menunjukkan pengaruh pH terhadap produksi biogas pada campuran *vinasse* dan rumen dengan tambahan sumber nitrogen dari urea. Volume biogas yang dihasilkan dari campuran *vinasse*, rumen dan urea yang tidak dinetralkan lebih banyak kuantitasnya dibandingkan biogas dari campuran yang dinetralkan. Volume biogas meningkat drastis pada hari ke-8 dan ke-10, namun setelah itu akumulasinya konstan karena sudah tidak terbentuk biogas.

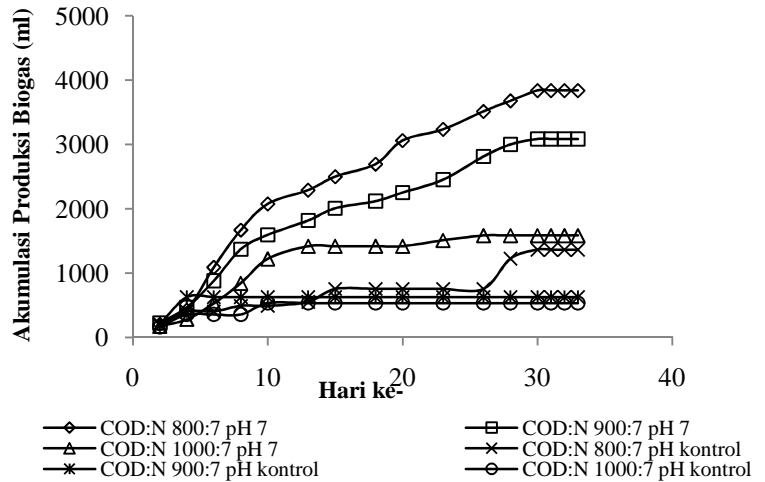
Gambar 2 menunjukkan akumulasi produksi biogas dalam waktu 30 hari. Pada gambar dapat dilihat, bahwa biogas paling banyak diproduksi apabila menggunakan pH yang dinetralkan hanya pada awal reaksi saja.

Gambar 2 Grafik pengaruh pH terhadap produksi biogas pada campuran *vinasse*, rumen dan urea

Sedangkan produksi biogas terendah yang ditunjukkan dengan gradien garis yang paling kecil adalah pada pH yang dinetralkan tiap empat hari. Biogas yang dihasilkan pada kondisi COD:N 800:7 dan pH 7 adalah 0,96 ml biogas/mg TS COD.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh pH terhadap produksi biogas pada campuran *vinasse* dan rumen dengan tambahan sumber nitrogen dari NH_4HCO_3 . Dari gambar dapat diketahui bahwa volume biogas dengan pH 7, akumulasi volumenya lebih banyak daripada biogas yang dihasilkan dari campuran yang dinetralkan setiap empat hari sekali. Biogas yang dihasilkan pada kondisi COD:N 800:7 dan pH 7 adalah 13,17 ml biogas/mg TS COD. Derajat keasaman (pH) menunjukkan sifat asam atau basa pada suatu bahan. Derajat keasaman merupakan suatu ekspresi dari konsentrasi ion hidrogen, $[\text{H}^+]$ yang besarnya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion hidrogen, yaitu:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$



(1) Gambar 3 Grafik pengaruh pH terhadap produksi biogas pada campuran *vinasse*, rumen, dan NH_4HCO_3

Sebagaimana diketahui bahwa salah satu tahap dalam dekomposisi bahan organik anaerobik adalah tahap asidogenesis dan asetogenesis. Pada tahap ini terbentuk asam lemak volatil yang akan menurunkan pH dalam reaktor. Keseluruhan proses anaerobik terjadi pada pH antara 6 – 8. Walaupun bakteri pembentuk metana sangat peka terhadap pH, tetapi pH dalam reaktor tidak harus dikendalikan secara ketat.

Pengaturan pH dapat dilakukan dengan menjaga umpan tidak terlalu asam serta mengendalikan jumlah pencampuran agar kesetimbangan reaksi antara tahap asidogenik dan metanogenik terjaga dengan baik. Pada kondisi tanpa bantuan penyeimbang pH, maka pada nilai pH dibawah 6 aktivitas bakteri metan akan mulai terganggu dan bila mencapai 5,5 aktivitas bakterial akan terhenti sama sekali. Konsentrasi pH di dalam reaktor ini sangat dipengaruhi oleh jumlah asam lemak volatil (VFA), ammonia, CO_2 dan kandungan alkalinitas bikarbonat yang dihasilkan.

Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8 (Simamora dkk, 2006).

Pertumbuhan bakteri penghasil gas metana akan baik bila pH bahan berada pada keadaan (basa) yaitu 6,5 sampai 7. Nilai pH terbaik untuk suatu digester yaitu sekitar 7,0. Apabila nilai pH di bawah 6,5, maka aktivitas bakteri metanogen akan menurun dan apabila nilai pH di bawah 5,0, maka fermentasi akan terhenti (Yani dan Darwis, 1990). Bila proses fermentasi berlangsung dalam keadaan normal dan anaerobik, maka pH akan secara otomatis berkisar antara 7 – 8,5. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan mengakibatkan pengaruh yang negatif pada populasi bakteri metanogen, sehingga akan mempengaruhi laju pembentukan biogas dalam reaktor.

Pada botol 4, 5, 6, 10, 11, dan 12, campuran dinetralkan mencapai pH 7 dan akan dinetralkan kembali setiap empat hari sekali. Sedangkan 6 botol yang lain, campuran dinetralkan pada awal proses dan tidak dilakukan penetralan pH selama penelitian.

Pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua proses, yaitu proses aerobik dan proses anaerobik. Pada proses aerobik, berlangsungnya proses sangat tergantung dari adanya oksigen, sedangkan dalam proses anaerobik justru sebaliknya karena oksigen akan menghambat jalannya proses.

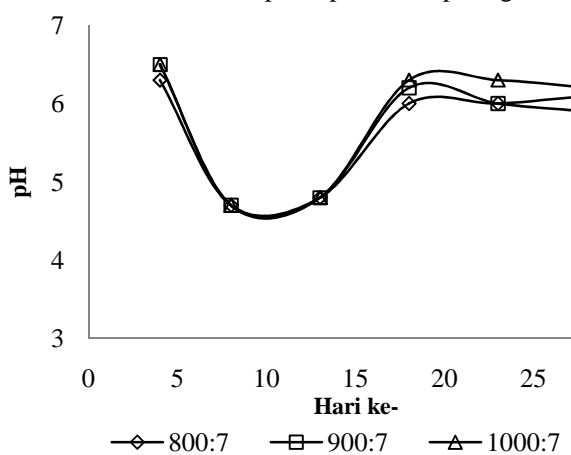
Di dalam reaktor biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam reaktor seperti temperatur, keasaman dan jumlah material organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus*, dan *Methanoxthrix* (Haryati, 2006).

Pada tahap pembentukan gas metana, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap kedua yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai

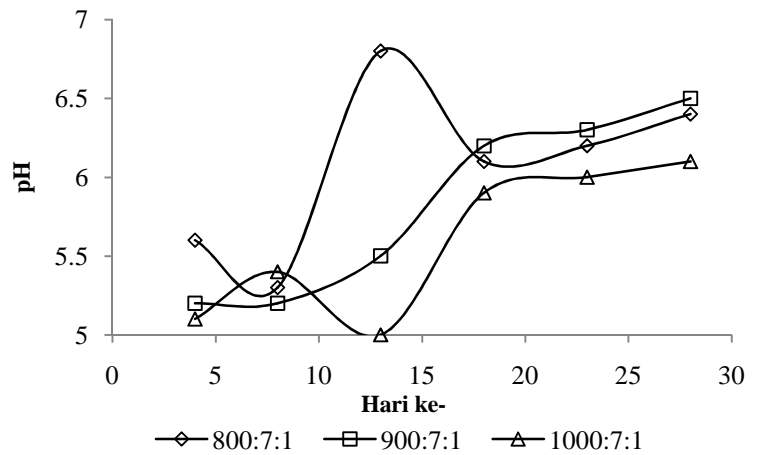
substrat untuk menghasilkan metana, karbondioksida, sisa-sisa gas seperti H_2S dan air. Bakteri ini merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Berbeda dengan bakteri asidogenesis dan asetogenesis, bakteri metanogenesis termasuk dalam genus *Archaeobacter* yaitu kelompok bakteri yang mempunyai struktur morfologi yang sangat berbeda-beda (heterogen), sifat biokimia yang umum, dan sifat biologi molekuler yang berbeda dengan bakteri lain.

Produksi biogas akan lebih optimum jika fermentasi anaerobik yang dilakukan benar-benar pada kondisi tanpa oksigen (O_2). Sehingga pada penelitian dengan pH kontrol yang dilakukan tiap empat hari sekali tidak dapat menghasilkan biogas dengan optimum. Kondisi yang memungkinkan masuknya oksigen pada reaktor adalah ketika dilakukannya pengambilan sampel bahan dari dalam reaktor. Sampel bahan diambil dari lubang sampel yang terdapat pada reaktor. Solusi yang mungkin bisa dilakukan adalah dengan memperbaiki desain sistem reaktor ketika pengambilan sampel, agar kemungkinan masuknya oksigen dikurangi, yaitu dengan sistem buka-tutup otomatis pada lubang sampel.

Pada hasil terlihat bahwa setelah hari ke 13 sudah tidak dihasilkan biogas. Hal itu karena pH pada botol 1 hingga 6 sudah mengalami penurunan hingga di bawah 6,5, yang menyebabkan aktivitas bakteri metanogen akan menurun dan di saat nilai pH mencapai di bawah 5,0, maka fermentasi terhenti sehingga biogas tidak dihasilkan kembali. Penurunan pH dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4 Grafik pH harian campuran *vinasse*, rumen, dan urea



Gambar 5 Grafik pH harian campuran *vinasse*, rumen, dan NH_4NCO_3

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada hari ke-13, pH campuran mencapai nilai di bawah 5 sehingga fermentasi terhenti dan tidak dapat dihasilkan biogas. Nilai pH yang terlalu asam dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana. Sedangkan pada campuran *vinasse*, rumen, dan NH_4HCO_3 biogas masih dapat terbentuk pada hari ke-13 karena NH_4HCO_3 merupakan buffer yang digunakan untuk menjaga pH tetap pada kondisi netral. Seperti diketahui bahwa bakteri metanogenik memiliki karakteristik antara lain membutuhkan kondisi anaerob, menghasilkan enzim *Silanas* *actinobacteria* dan hanya dapat hidup pada kisaran pH yang sempit yaitu 5-7 (Weimer et al., 1999; Peres et al., 2002).

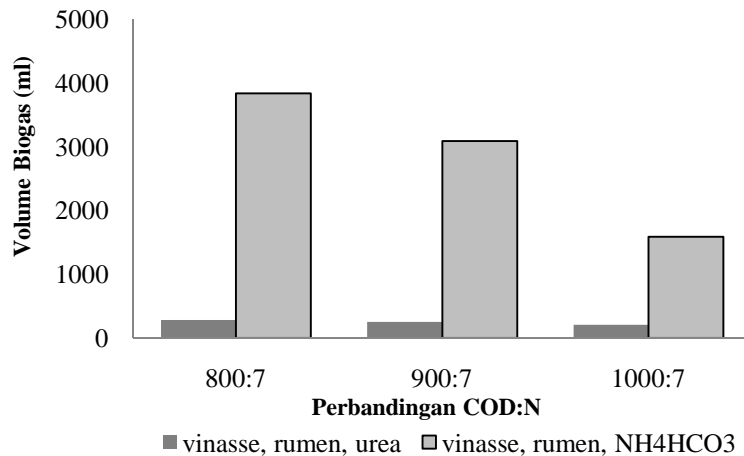
b. Pengaruh Perbandingan COD:N Terhadap Produksi Biogas

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator (misal kalium dikromat) untuk mengoksidasi seluruh material baik organik maupun anorganik yang terdapat dalam air (MetCalf & Eddy, 2003). Mikroba membutuhkan udara dalam mendegradasi substrat, dimana protein dihidrolisis menjadi asam-asam amino, karbohidrat dihidrolisis menjadi gula-gula sederhana, dan lemak dihidrolisis menjadi asam-asam berantai pendek. Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup.

Dari hasil terlihat bahwa pada perbandingan COD:N 800:7 produksi biogas mampu mencapai optimum sebesar 280 ml (0,96 ml biogas/mg TS COD), sementara pada perbandingan COD:N 900:7 dan 1000:7 biogas optimum hanya diperoleh sebesar 250 ml (0,857 ml biogas/mg TS COD) dan 208 ml (0,713 ml biogas/mg TS COD). Dari gambar 3, produksi biogas optimum yang diperoleh juga terdapat pada perbandingan COD:N 800:7 yaitu sebesar 3839 ml (13,17 ml biogas/mg TS COD), sementara pada perbandingan COD:N 900:7 dan 1000:7 biogas optimum hanya diperoleh sebesar 3088 ml (10,589 ml biogas/mg TS COD), dan 1586 ml (5,44 ml biogas/mg TS COD). Perbandingan COD:N 800:7 menghasilkan biogas yang optimum, karena pada perbandingan tersebut bakteri lebih mudah menguraikan senyawa-senyawa organik. Sedangkan pada perbandingan COD:N 1000:7 diperoleh hasil biogas yang paling kecil yang menandakan bahwa penurunan COD juga kecil pula. Sedikitnya

penyisihan COD karena oleh beberapa hal, yaitu bahan organik pada tahap asidifikasi dirombak menjadi asam yang selanjutnya dirombak menjadi metana pada tahap metanasi. Semakin besar bahan organik yang dirombak menjadi asam (VFA) dan melebihi kemampuan bakteri metanogen untuk merombak mengakibatkan akumulasi asam sehingga proses metanasi terhambat dan penyisihan COD kurang maksimal (sitasi).

c. Pengaruh Penambahan Nutrisi terhadap Volume Biogas



Bahan organik yang diuraikan oleh mikroorganisme tanpa oksigen, akan menghasilkan beberapa jumlah metana. Kurangnya elemen khusus yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme akan membatasi produksi biogas. Nutrisi ditandai dengan rasio karbon dan nitrogen (perkiraan 20-30:1) (Anunputtikul, 2004). Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan nutrisi, dalam hal ini urea dan NH_4HCO_3 sebagai suplai nutrisi. Kuantitas urea dan NH_4HCO_3 yang ditambahkan disesuaikan dengan nilai COD bahan dan perbandingan variabel COD:N yang diinginkan.

Gambar 6 Grafik Penambahan Urea dan NH_4HCO_3 terhadap Volume Biogas

Gambar 6 di atas menunjukkan pengaruh dari penggunaan sumber nitrogen terhadap volume biogas yang dihasilkan. Dari gambar tersebut, dapat dijelaskan bahwa produksi biogas dengan menggunakan NH_4HCO_3 jauh lebih banyak daripada menggunakan urea.

Urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena mudah dicerna oleh berbagai mikroorganisme. Selain itu, urea yang berisi nitrogen menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Akan tetapi, kekurangan urea dapat menghambat produksi metana (Anunputtikul, 2004).

Dari hasil penelitian yang dapat dilihat pada gambar 6 didapatkan bahwa *vinasse* yang diberi tambahan urea menunjukkan hasil yang tidak maksimal. Hal ini karena rasio C/N pada limbah sudah berada pada komposisi yang bagus untuk pertumbuhan mikroorganisme sehingga penambahan urea menyebabkan kadar N dalam umpan semakin besar, sehingga kadar C/N semakin kecil. Kadar C/N yang relatif kecil tidak baik untuk proses pembentukan biogas karena akan meningkatkan emisi nitrogen sebagai amonium yang dapat menghalangi perkembangan bakteri. Oleh karena itu, perlu ada alternatif lain yang digunakan sebagai nutrisi sumber nitrogen.

Pada proses pembentukan biogas sering terjadi penurunan pH yang cukup drastis di awal proses yang disebabkan oleh pembentukan asam yang terlalu cepat. Selain pembentukan asam juga karena pembentukan gas hidrogen, karbondioksida, dan beberapa VFA seperti asam propionate dan butirat. pH yang rendah mampu menyebabkan mikroorganisme pembentuk biogas yaitu bakteri metanogenesis (bakteri rumen) berada dalam kondisi inaktif (Vicenta et al., 1984)

Di samping itu, agar bakteri metanogenik mampu tumbuh dan berkembang dengan baik diperlukan penambahan buffer ke dalam digester untuk meningkatkan alkalinitasnya. Oleh karena itu digunakan NH_4HCO_3 yang juga berfungsi sebagai *buffer* untuk meningkatkan alkalinitas selama proses fermentasi berlangsung.

Tingkat keasaman maupun basa pada proses fermentasi dinyatakan dengan pH. Kebanyakan bakteri metanogenesis mempunyai pH optimum mendekati netral (Jones et al., 1987). pH optimum dalam produksi biogas berada dalam rentang 6,8-7,2 dengan batasan rentang operasi tanpa hambatan yang signifikan sekitar 6,5-7,6 (Anglo It al., 1987; Bunchueydee, 1984; Haga et al., 1979). Bakteri metanogenesis terkadang dapat tumbuh pada rentang pH antara 6,5-8,2 (Buyukkamaci dan filibeli, 2004).

Pembentukan biogas yang lebih besar pada proses fermentasi 2 tahap disebabkan karena adanya proses hidrolisa terlebih dahulu yang merupakan proses degradasi senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida sehingga akan mempermudah proses pembentukan asam oleh bakteri asetogenik dan juga proses pembentukan metan oleh bakteri metanogenesis. Proses tersebut tidak akan dijumpai pada fermentasi 1 tahap, sehingga akan terjadi pembentukan asam yang terlalu cepat. Pembentukan asam yang terlalu cepat ini menyebabkan banyaknya bakteri metanogenesis yang mati karena tidak tahan dengan suasana



asam. Terjadinya penurunan pH ini diatasi dengan penambahan NH_4HCO_3 yang bertujuan untuk mempertahankan *range* pH agar bakteri dapat bertahan.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa pH yang baik untuk produksi biogas adalah pH 7 atau pH yang dinetralkan di awal tanpa penetralan harian. Sedangkan diantara variabel perbandingan COD:N yaitu 800:7, 900:7, dan 1000:7, yang dapat menghasilkan biogas dengan optimal adalah variabel 800:7.

Biogas yang dihasilkan pada kondisi COD:N 800:7 dan pH 7 adalah 13,73 ml biogas/mg COD selama 30 hari. Selain itu, dari penelitian ini dapat diketahui bahwa nutrisi yang baik sebagai sumber nitrogen adalah NH_4HCO_3 , juga sekaligus berperan sebagai *buffer* yang dapat mengatasi penurunan pH pada awal proses.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Ir. Budiyo, M. Si selaku dosen pembimbing dan Staf Laboratorium Pengolahan Limbah Teknik Kimia Universitas Diponegoro.

Daftar Pustaka

- Anunputtikul, W., Rodtong, S., *Investigation of The Potential Production of Biogas from Cassava Tuber*, Abstracts of the 15th Annual Meeting of The Thai Society for Biotechnology and JSPS-NRCT Symposium, Thailand, 2004, p. 70.
- Ayu, Audra and Vinsencia Dyan. 2010. Biogas Production Using Anaerobic Biodigester From Cassava Starch Effluent With Ruminant Bacteria as Biocatalyst. *Thesis*. Chemical Engineering Department, Technical Faculty, Diponegoro University. Semarang.
- Buren, A. 1979. *A Chinese Biogas Manual*. Intermediate Technology Publications Ltd. London.
- Cortella, Giovanni and Carla Da Porto. 2003. *Design of a Continuous Distillation Plant for The Production of Spirits Originating From Fermented Grape*. *Journal Of Food Engineering* 58: 379.
- Dahuri, D. 2007. Sampah Organik, Kotoran Kerbau Sumber Energi Alternatif. <http://www.energilipi.go.id> (26 April 2007)
- Engler CR., dkk. 2000. Economics and Environmental Impact of Biogas Production as a Manure Management Strategy. <http://tammi.tamu.edu/Engler2.pdf>. (2 Mei 2011)
- Fardiaz, S. 1990. *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Antar Universitas - IPB. Bogor.
- Fry, L. J. 1974. *Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence*. Standard Printing Santa Barbara: California.
- Gijzen HJ. 1987. *Anaerobic Digestion of Cellulatic Waste by Rumen Derived Process*. Den Haag: Bibliotech.
- Hambali E, dkk. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Haq PS dan Soedjono ES. 2009. *Potensi lumpur tinja manusia sebagai penghasil biogas*. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP-ITS: Surabaya.
- Indartono, Yuli Setyo. 2006. Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah. <http://www.indeni.org/content/view/63/48/>. (21 April 2007)
- Indira. 2007. Laju Produksi CH_4 dari Degradasi Sampah Kota Secara Anaerob dengan Variasi Temperatur. <http://digilib.itb.ac.id>. (3 Mei 2007)
- Judoamidjojo, M. dan A. A. Darwis. 1990. *Teknologi Fermentasi*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi - IPB. Bogor.
- Nandiyanto, A. B. D. dan F. Rumi. 2006. Biogas Sebagai Peluang Pengembangan Energi Alternatif. <http://io.ppi-jepang.org/article.php?d=199> (25 April 2007)
- Padmono, Djoko. 2007. *Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyangga (Buffer Capacity) dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed*. Pusat Teknologi Lingkungan. Jakarta.
- Prasetio B. 2010. Optimasi produksi xilitol oleh sel amobil candida tropicalis melalui fermentasi batch. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB, Bogor.
- Sahidu, S. 1983. *Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi*. Dewaruci Press. Jakarta.
- Salomon, K. R. dan Silva Lora, E.E. 2009. *Estimate of the Electric Energy Generating Potential for Different Sources of Biogas in Brazil*. *Biomass and Bioenergy* 33 (2009) page 1101-1107
- Sathianathan, M. A. 1975. Biogas Echiefemens and Challanges. 1992. Mempelajari Cara Pembuatan Biogas Melalui Proses 'Rumen Derived Anaerobic Digestion' (RURAD). *Skripsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Soeprijanto, dkk. 2010. *Pengolahan Vinasse dari Air Limbah Industri Alkohol menjadi Biogas dengan Menggunakan Bioreaktor UASB*. *Jurnal Purifikasi*, Vol.11 No. 1 hal.11-20.



- Stampe. S , dkk. 1983. *Energy Consumption of a Farm-Scale Ethanol Distillation System*. Energy in Agriculture 2: 355.
- Sttafford, D. A., D. L. Hawkes., dan R. Homton. 1980. *Methan Production From Waste Organic Matter*. CRC Press, Inc. Florida.
- Sulaeman D. 2007. Pengomposan: Salah Satu Alternatif Pengolahan Sampah Organic <http://agribisnis.Deptan.go.id/Pustaka/dede>. (24 April 2007)
- Tchobanoglous, G. dan Burton, F.L. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, third edition. McGraw Hill, New York, pp.1334.
- Wahyuni. 2009. *Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Weismann U. 1991. *Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater*. Institut fur Verhahrentechnik, Berlin.
- Yani M dan Darwis AA. 1990. *Diktat Teknologi Biogas*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi-IPB. Bogor