

Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Anaerobik Jerami Padi Dengan Inokulasi Mikroorganisme Rumen

Veny Ulil A, Farah Amirotus S, dan Tri Widjaja
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: papatri2003@yahoo.com

Abstrak- Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energi fosil semakin berkurang. Sehingga pengembangan penelitian sumber energi alternatif semakin sering dilakukan, salah satunya adalah produksi metana secara anaerobik. Metana menghasilkan rasio energi output/input yang cukup besar yaitu 28 MJ/Mj. Akan tetapi produksi biogas dari biomassa yang mengandung selulosa, lignoselulosa dan hemiselulosa masih banyak mengalami kendala karena sulitnya tiga polymer tersebut dipecah oleh bakteri penghasil metana. Tahap pertama dalam penelitian adalah persiapan jerami padi dan cairan rumen kemudian tahap kedua melakukan pre treatment dengan komposisi 17% air, 37% cairan rumen, 46% jerami padi. Tahap selanjutnya yaitu melakukan Fermentasi anaerobik selama 21 hari dengan suhu 30°C pada volume kerja reactor sebesar 3.7 l. Sedangkan untuk Tahap penelitian koefisien perpindahan massa pertama yaitu mempersiapkan hasil fermentasi anaerobik kemudian diukur O_2 terlarut dengan DO meter kemudian dihitung koefisien perpindahan massa CH_4 . Hasil menunjukkan bahwa kandungan CH_4 pada variable 5%, 10%, 15% volume rumen terbesar sebesar 29215.2 ppm, 26555 ppm, 56484 ppm. Untuk penelitian koefisien perpindahan massa (k_La) pada variable volume rumen 5% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan (k_La) sebesar $5.406\ h^{-1}$, untuk pengadukan 10 RPM didapatkan (k_La) sebesar $5.556\ h^{-1}$, dan untuk pengadukan 30 RPM didapatkan (k_La) sebesar $5.18\ h^{-1}$. Untuk variable volume rumen 10% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan (k_La) sebesar $4.205\ h^{-1}$, untuk pengadukan 10 RPM didapatkan (k_La) sebesar $5.481\ h^{-1}$, dan untuk pengadukan 30 RPM didapatkan (k_La) sebesar $5.71\ h^{-1}$. Dan untuk variable volume rumen 15% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan (k_La) sebesar $5.481\ h^{-1}$, untuk pengadukan 10 RPM didapatkan (k_La) sebesar $5.631\ h^{-1}$, dan untuk pengadukan 30 RPM didapatkan (k_La) sebesar $6.16\ h^{-1}$.

Kata Kunci : Fermentasi anaerobik, Jerami Padi, Lignoselulose biomass, Koefisien perpindahan massa, Mikroba rumen

I. PENDAHULUAN

Jerami padi mengandung 37.71 % selulosa; 21,99 % hemiselulosa; 16.62 % lignin (dewi, 2002). Pada tahun 2010, Departemen Pertanian memperkirakan jumlah jerami yang dihasilkan lahan sawah se Indonesia adalah 84 juta ton jerami. Pemanfaatan jerami ini selain sebagai pakan ternak dan pupuk organik masih bisa diambil gas metana nya untuk sumber energi terbarukan (Trubus, 2010).

Produksi metana dari berbagai limbah biologis dengan metode anaerobik sampai saat ini terus dipakai luas diseluruh dunia dengan tujuan ekonomis dan manfaatnya pada lingkungan (Corro dkk., 2013). Fermentasi metana adalah teknologi paling efisien untuk menghasilkan energi dari biomass dalam hitungan ratio energi output/input 28.8 (MJ/MJ) dari semua teknologi yang dipakai dalam menghasilkan energi melalui cara biologis dan thermokimia (Deublein dkk., 2008). Gas metana adalah bahan bakar yang bisa dihasilkan dari proses anaerobik. Proses anaerobik adalah proses degradasi limbah organik terkendali tanpa oksigen dan melibatkan mikroorganisme anaerobik (Ojolo dkk., 2007) yang menghasilkan menghasilkan metana, karbon dioksida dan menghasilkan pupuk kompos untuk memperbaiki lahan pertanian (Koberle dkk., 1995).

Produksi metana menggunakan biomassa memiliki beberapa kendala yang bisa menghambat proses methanogenesis. Hambatan terjadi karena biomassa selulosa terdiri dari tiga buah polymer yang berdekatan : selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hendriks dan Zeman, 2009).

Metode pre-treatment yang dipakai dalam produksi metana dari biomass diantaranya mekanis (*mill, shredder*), kimia (*chemical*), dan thermal (*wet oxidation*) (Fox dan Noike, 2004; Lin dkk., 2009; Tong dkk., 1990; Ueno dkk., 2007; Yen dan Brune, 2007). Pre-treatment tersebut bisa memperbaiki

aksesability dan biodegradability selulosa (Baba dkk., 2013). Selain metode diatas metode pre-treatment dengan cairan rumen juga dipakai dalam penelitian sebelumnya. Dan menghasilkan konversi metana sebesar 73.4% walaupun tanpa pretreatment mekanis, thermal, dan kimia (Baba dkk., 2013).

Untuk mendapatkan konversi biogas yang maksimal, dalam hal ini dipengaruhi oleh koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa volumetric $k_L a$, adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorbsi per unit waktu, per unit luas kontak per unit beda konsentrasi). $k_L a$ tergantung pada sifat dari system dan dinamika fluida.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi

Tabel 1. Komposisi Jerami Padi dan Nutrisi Jerami Padi

Keterangan	Komposisi
Selulosa (%)	37.71
Hemiselulosa (%)	21.99
Lignoselulosa (%)	16.62
EM (Kkal/kg)	3.799,00
Bahan kering (%)	92,00
Protein Kasar (%)	5,31
Lemak Kasar (%)	3,32
Serat Kasar (%)	32,14
Abu (%)	22,25

Sumber: Dewi (2002) , Sarwono dan Arianto (2003).

B. Rumen Fluid

Rumen adalah bagian pertama (first stomach) didalam lambung sapi yang harus dilewati sebelum makanan dicerna lebih lanjut oleh sistem pencernaan lainnya. Ukuran rumen adalah 150 – 200 L

Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegiria n Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar 7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan (www.kanalsatu.com).

C. Fermentasi Anaerobik

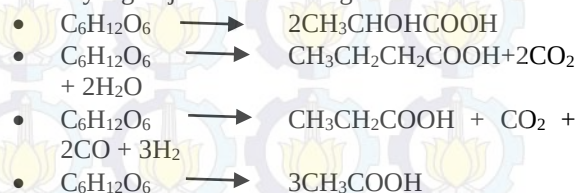
Metana adalah salah satu gas yang dihasilkan dalam proses pembuatan biogas. Biogas dihasilkan dari proses anaerobik senyawa organik kompleks, seperti lipids polisakarida, protein, lemak, asam nukleat dan lain sebagainya (Yadvika dkk., 2004). Prosesnya bisa dibagi dalam tiga tahap sebagai berikut :

1. Tahap Hidrolisis ; Proses hidrolisis memecah molekul organik kompleks menjadi unit yang lebih kecil sebagai contoh gula / monosakarida, asam amino, alcohol, fatty acid, dan

senyawa organik lain yang lebih sederhana..(Yadvika et. al., 2004). Reaksi yang terjadi dalam proses ini sebagai berikut



2. Tahap Acidogenesis ; pada proses ini bakteri acidogenic (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi volatil fatty acid misalnya laktat, butirat, propionate, dan asetat, juga terbentuk karbondioksida, NH_3 , H_2S dan H_2 (Grande) . Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



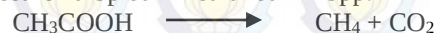
3. Tahap Metanogenesis ; pada proses ini, bakteri methanogenic archaea seperti *Methanosarcina* Sp dan *Methanotrix* Sp yang mengubah H_2 dan asam asetat menjadi CO_2 , CH_4 dan air, dan mengubah H_2 dan asam propionat menjadi CH_4 dengan bakteri *Methanobacterium*, *Methanococcus* (Yadvika et. al., 2004). Jenis-jenis reaksinya adalah sebagai berikut :

a. *Hydrogenotrophic metanogens*, proses

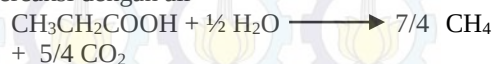
metanogen yang menggunakan hidrogen dan bereaksi dengan karbon dioksida.



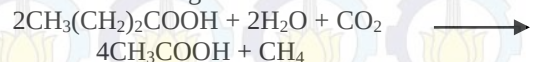
b. *Acetotrophic metanogens*, disebut juga *acetoclastic* atau metanogen yang memecah asam asetat menjadi metana dan CO_2 oleh bakteri *Methanosarcina* Sp dan *Methanotrix* Spp.



c. Pembentukan metana dari asam propionate yang bereaksi dengan air



d. Proses metanogenesis dengan reaksi antara asam butirat dengan air dan karbondioksida



Tiga tahap proses diatas terjadi berkesinambungan dan sinergis.

D. Pembuatan Biogas Dengan Inokulasi Cairan Rumen

Proses pembuatan biogas dilakukan dengan proses fermentasi anaerobik pada kondisi suhu 30 – 40°C selama 21 hari dengan fermentasi batch. Sebelum melakukan fermentasi anaerobik selama 21 hari melakukan pre treatment untuk mendapatkan sludge dengan komposisi (17% air, 37% cairan rumen, 46% jerami padi) (G. Corro dkk, 2013). Untuk tahap selanjutnya yaitu tahap fermentasi anaerobik dengan volume digester yang dipakai adalah 6 liter dengan volume kerja 3.7 liter (70%

volume; Baba dkk,2013). Proses anaerobic digestion dilakukan dengan memasukkan sludge feed awal (Corro dkk,2013) sludge feed awal yang sudah dipretreatment secara biologis variable 5%,10%,15% dari volume kerja digester. dan nutrisi.

E. Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa volumetrik k_{La} , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak. Per unit beda konsentrasi). k_{La} tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida. Koefisien perpindahan massa volumetrik, k_{La} , dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt

F. Pengukuran dan Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa CH_4

Perhitungan koefisien perpindahan massa dilakukan dengan menggunakan alat DO meter. Sampel yang digunakan merupakan hasil dari fermentasi anaerobic. Pengukuran koefisien perpindahan massa dilakukan pada setiap variable RPM dan % Volum dari volume mikroorganisme rumen yang dilakukan pada proses anaerobic. Hasil pengukuran konsentrasi O_2 kemudian di plot antara $-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}}$ vs waktu untuk mendapatkan $k_{La_{O_2}}$. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan rumus

Untuk mendapatkan $k_{La_{CH_4}}$

$$\frac{k_{La_{O_2}}}{k_{La_{CH_4}}} = \left(\frac{D_{O_2-w}}{D_{CH_4-w}} \right)^{0.5}$$

G. Analisa

Analisa kurva pertumbuhan bakteri dilakukan setiap 5 hari sekali dengan metode counting chamber

Analisa kadar COD dilakukan setiap 5 hari sekali dengan metode COD

Analisa VFAs dilakukan setiap 5 hari sekali dengan metode GC

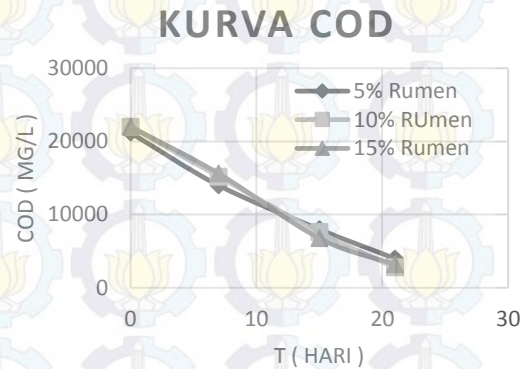
Analisa kandungan metana dilakukan setiap 5 hari sekali dengan metode GC

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perombakan (degradasi) limbah cair organik akan menghasilkan gas metana, karbondioksida dan gas-gas lain serta air. (Sugiharto, 1987).

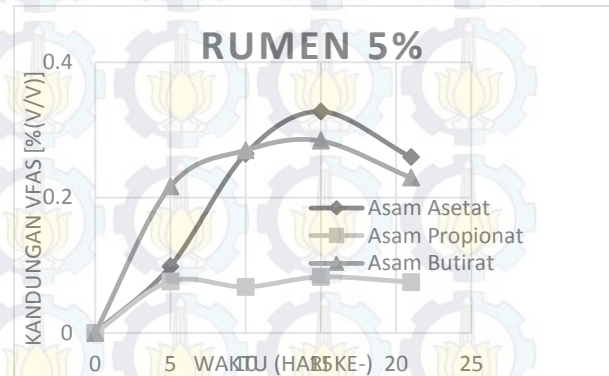
Proses tersebut memerlukan bakteri untuk menguraikan glukosa sampai terbentuk biogas. Terbentuknya biogas diindikasikan dengan turunnya kadar COD menunjukkan bahwa material selain asam dapat terdegradasi (Hobson *et al.*, 1984). Dapat dikatakan bahwa proses degradasi bahan organik kompleks menjadi metan dan biogas berjalan efektif.

Hasil analisa penurunan kadar COD dapat dilihat pada grafik di bawah ini :

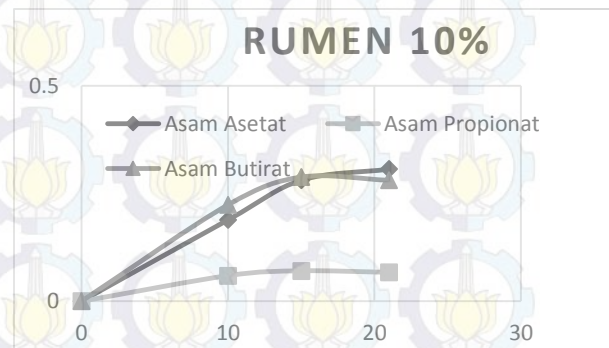


Gambar.1 Kurva kadar COD vs waktu (hari)

Asam volatile diubah menjadi metan dan CO_2 dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polprasert, 1995). Kadar VFA, terutama asam asetat, terus meningkat seiring dengan waktu produksi. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroba asetonik meningkat, berpengaruh pada jumlah produksi biogas yang meningkat. Data analisa VFAs dapat dilihat pada grafik di bawah ini :

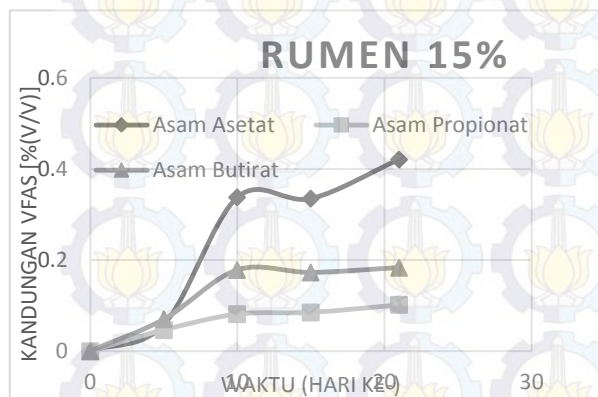


Gambar.2 Kurva VFAs variable 5% vs waktu (hari)



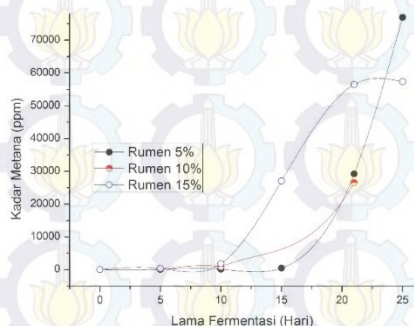
Gambar.3 Kurva VFAs variable 10% vs waktu (hari)

Gambar.4 Kurva VFAs variable 15% vs waktu (hari)



VFAs adalah asam- asam organic yang mudah menguap hasil dari tahap asidogenesis semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi konversi yield metana yang dihasilkan. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai VFAs cenderung meningkat sehingga konversi metana yg dihasilkan juga tinggi. (Kivaisi, 1994).

Pada tahap metanogenesis dihasilkan produk utama yaitu metana. Berikut ini merupakan grafik kandungan metana :



Gambar.5 Kurva kandungan metana vs waktu (hari)

Produksi metan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan bakteri metanogenik yang mengubah asam volatil menjadi metan dan CO₂ dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polprasert, 1995), sehingga laju pembentukan metan seiring dengan laju pertumbuhan bakteri metanogenik.

Untuk mengetahui koefisien perpindahan massa CH₄ dari liquid ke gas. Analisa dilakukan dengan cara menghitung oksigen yang terlarut menggunakan DO meter. CH₄ merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah sama halnya dengan O₂, N₂, H₂. (Andre,1990). Berikut ini adalah hasil perhitungan K_La CH₄ tiap variabel rumen dan RPM :

Tabel 2. Tabel K_La CH₄ tiap variabel rumen dan RPM

Volume rumen	Viskositas μ (Cst)	k _L a CH ₄ /jam		
		0 RPM	10 RPM	30 RPM
5%	7.69375	5.406	5.556	5.181
10%	7.65	4.205	5.481	5.706
15%	7.65625	5.481	5.631	6.157

Berdasarkan table di atas dapat dilihat bahwa untuk variabel RPM semakin tinggi RPM maka K_La juga semakin tinggi pula. Hal ini berdasarkan literature bahwa Semakin besar kecepatan rotasi (rpm) sampai kecepatan rotasi critical maka semakin besar pula koefisien transfer massanya.

Koefisien perpindahan massa volumetrik, k_L a, dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt. Koefisien perpindahan massa umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi empirik bilangan Sherwood melibatkan bilangan Reynold dan bilangan Schmidt. Dari hasil perhitungan didapatkan error sebesar 0,82.

Setelah didapatkan perhitungan nilai k_L a CH₄, apabila dihubungkan dengan kandungan gas metana yang didapatkan. Berikut ini adalah perbandingan kandungan metana dengan koefisien perpindahan massa

Tabel 3. Tabel K_La CH₄ tiap variabel rumen dan kandungan metana

Volume Rumen	k _L a CH ₄	Metana (ppm)
5%	5.406	29215.20
10%	4.2	26555
15%	5.481	56484.00

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa hasil k_L a CH₄ sebanding dengan hasil metana yang didapat. Sehingga, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa CH₄ dari CH₄ yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

- Memproduksi Metana dari jerami padi dengan mikroorganisme cairan rumen didapatkan hasil metana tertinggi pada hari ke-21.
- Pengaruh mikroorganisme cairan rumen pada fermentasi anaerobic dipengaruhi :
 - Semakin besar penurunan kadar COD, maka volume biogas yang dihasilkan juga semakin banyak. Semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi metana yang dihasilkan.

3. Koefisien perpindahan massa ($K_L a$) CH_4 sebanding dengan kandungan metana yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baba, Y., Tada, C., Fukuda, Y., Nakai, Y., 2013, "Improvement of Methane Production from Waste Paper by Pretreatment of Rumen Fluid", *Bioresource Technology*, Vol. 128, Hal. 94-99
- [2] Deublein D., Steinhauser A., 2008, "Biogas from Waste and Renewable Sources: An Introduction", *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim
- [3] Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M., 2013, "Generation of Biogas from Coffee Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustion emission", *Energy Conversion and Management*, Vol. 74, hal. 471-481
- [4] Pauss A., Gerald A. 1990. "Liquid to Gas Mass Transfer in Anaerobic Process: Inevitable Transfer Limitations of Methane and Hydrogen in the Biomethanation Process". *Applied And Environmental Microbiology*, Vol 56

