

PEMANFAATAN BAGASE TEBU DAN LIMBAH NANAS SEBAGAI BAHAN BAKU PENGHASIL BIOGAS

Utilization of Sugarcane Bagasse and Pineapple Waste for Biogas Production

Hariyadi^a, Tri Retno D. L.^b, Siswanto^c

^aFakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^bPusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Pasar Jumat, Jakarta

^cBalai Penelitian Bioteknologi Hasil Perkebunan, Bogor

Abstract. Sugarcane bagasse and pineapple waste were selected as agricultural wastes, by the process of anaerobic fermentation, as well as to study the effect of addition of cow dung, on gas production from sugarcane bagasse, pineapple waste and both blendings. The batch experiment was carried out to use as substrat in 20 L digester for nine treatment of sugarcane bagasse (Bg), pineapple waste (Ns), both blendings (BNs). Completely Randomized experiment method used at the laboratory scale, which intend to found the best combination between Bg-25; Bg-30; Bg-35; Ns-25; Ns-30; Ns-35; BNs-25; BNs-30 and BNs-35. The result showed that during 48 anaerobic fermentation days, the high biogas production of Ns-35; BNs-30 and BNs-35 were 17,2 L; 12,6 L and 12,3 L, respectively. The parameter of TS, VS and COD were decreased, mean while parameter of VFA was increased at initially, the 20 day and 40 day. Quantitative analysis of the flammable biogas from some of the combination showed high methane contents. The Bg-25 had 75% CH₄ content, BNs-35 had 74% CH₄ content and Bg-30 had 70 % CH₄ content. The result of semi-continuos scale of 300 L digester showed that the optimal performance of bioreactor was feeding rate at 1,4 kg TS/L/day; 2,3 kg TS/L/day and 4,1 kg TS/L/day which resulted in biogas 64.4 L/day with methane content is 70 %.

Keywords: sugarcane bagasse, pineapple waste, biogas, methane

(Diterima: 11-06-2010; Disetujui: 21-07-2010)

1. Pendahuluan

Hampir seluruh komoditas budidaya di sektor pertanian dapat menghasilkan biomassa, sebagai sumber energi terbarukan. Biomassa adalah bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan/hewan; produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan) dapat diproses menjadi bioenergi. Hal ini didukung dengan kebijakan pemerintah Indonesia melalui Peraturan Pemerintah No.5/Tahun 2006 tentang Kebijakan Ekonomi Nasional, yang isi pokoknya adalah pada tahun 2025 ditargetkan bahan energi terbarukan harus sudah mencapai lebih dari 5% dari kebutuhan energi nasional, sedangkan bahan bakar minyak (BBM) ditargetkan menurun sampai di bawah 20%.

Biogas merupakan salah satu bentuk bioenergi yang dihasilkan dari proses biologis perombakan yang dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob. Secara umum gas yang dihasilkan memiliki komposisi 55 – 65% CH₄, 35 – 45% CO₂, 0 – 3% N₂ dan sedikit H₂S. Biogas merupakan bahan bakar yang mengandung nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 4500 – 6300 kkal/ m³. Volume biogas 1 m³ setara dengan 0,8 liter bensin, 0,52 liter solar, 0,62 liter minyak tanah, 0,46 kg elpiji dan 3,5 kg kayu bakar. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Nilai kalori CH₄ relatif tinggi sebesar 9000 kkal/m³. Gas CH₄ dikenal luas sebagai bahan baku ramah lingkungan, karena dapat terbakar

sempurna sehingga tidak menghasilkan asap yang berpengaruh buruk terhadap kualitas udara.

Limbah biomassa padat dari pertanian dan perkebunan merupakan bahan baku potensial untuk diolah menjadi biogas, yakni limbah pabrik gula dan pabrik pengolahan buah nanas. Bagase tebu masih mengandung senyawa organik majemuk, dan jika tidak dilakukan pengolahan, akan menimbulkan bau yang kurang sedap dan akan mencemari lingkungan. Sedangkan limbah nanas mengandung karbohidrat (6,41%), mineral dan protein mentah (0,6%) yang berpotensi digunakan sebagai substrat fermentasi. Osman *et al.* (2006) dalam hasil penelitiannya menunjukkan bahwa fermentasi anaerobik selama 42 hari pada bagase mampu menghasilkan biogas 51,52 L/ kg TS, sedangkan Chairasert *et al.* (2001) dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa fermentasi termofilik anaerobik limbah nanas mengandung 60% CH₄.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter proses optimal fermentasi campuran limbah bagase tebu dan limbah nanas dalam menghasilkan biogas, yakni dengan menganalisis faktor TS, VS, VFA dan COD. Penelitian dilakukan dalam sistem *batch* dan semi-kontinyu.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni – November 2009 di Laboratorium Kebumian dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, PATIR-BATAN, Pasar Jum'at- Jakarta.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagase tebu yang diambil dari pabrik gula PT. Rajawali II, Subang dan limbah nanas diambil dari pabrik pengolahan makanan PT. Marizafood, Serang. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 20 set bioreaktor kapasitas 20 L (Gambar 1), bioreaktor UASB 300L, detektor Metan, pHmeter-765 Calimatic, termometer, slang plastik, keran dan peralatan lainnya.

2.3. Rancangan Penelitian

Hasil fermentasi semi-aerob bagase tebu dan limbah nanas digunakan sebagai substrat dalam proses fermentasi anaerob menggunakan digester 20 L, yang sebelumnya dicampurkan dengan feces sapi sebagai sumber mikroba menggunakan sistem *batch* pada skala laboratorium dua kali ulangan, dengan rancangan percobaan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan percobaan skala laboratorium dengan sistem *batch*

Perlakuan	C/N	Komposisi Bobot Basah (kg)			
		Bgs. Tebu	Limb. Nanas	Kotoran Sapi	Berat Total
Bg-25	25	1	-	8	9
Bg-30	30	1,6	-	7,4	9
Bg-35	35	2,3	-	6,7	9
Ns-25	25	-	5	4	9
Ns-30	30	-	2,8	6,2	9
Ns-35	35	-	1,1	7,9	9
BNs-25	25	3,2	3,3	2,5	9
BNs-30	30	2,4	2,3	4,3	9
BNs-35	35	1,2	1	6,8	9
Co	65	9	-	-	9

Selama proses anaerob sistem *batch* berlangsung dilakukan pengukuran parameter proses. Parameter yang diamati terhadap laju produksi biogas adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Parameter dan waktu pengamatan

Parameter	Waktu Pengamatan	Metode
pH	Setiap hari	pH-meter 765 Calimatic
Suhu	Setiap Hari	Termometer.
Total Solid (TS)	Awal, pertengahan dan akhir	Analisa Lab. (APHA)
Volatile Solid (VS)	Awal, pertengahan dan akhir	Analisa Lab. (APHA)
Chemical Oxygen Demand (COD)	Awal, pertengahan dan akhir	Analisa Lab. (APHA)
Volatile Fatty Acid (VFA)	Awal, pertengahan dan akhir	Analisa Lab. (APHA)
Kandungan CH ₄	Awal, pertengahan dan akhir	Detektor Metan

Rangkaian percobaan yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Rangkaian skala laboratorium sistem *batch*



Gambar 2. Rangkaian skala lapang sistem kontinyu

2.4. Penelitian Semi-Lapang Sistem Kontinyu

Reaktor UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) volume 300 L digunakan dalam penelitian sistem semi- kontinyu yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju pengumpanan terhadap laju produksi biogas dan efisiensi pengurangan bahan organik.

Berdasarkan hasil produksi biogas skala laboratorium dengan menerapkan perlakuan Ns-35 yang menghasilkan produksi biogas kumulatif sebesar 17,2 L atau 203,1 L/ kg TS dalam 40 hari atau produksi harian rata-rata sebesar 0,431 L/hari, maka dilakukan pengumpanan mulai dari laju umpan 1,4 kg TS /L /hari ; 2,3 kg TS/ L/hari dan 4,1 kg TS/ m³/hari masing-masing diberikan selama 3 hari. Sebagai kontrol bioreaktor diisi dengan kotoran sapi dengan laju umpan 24,8 kg TS/L. Ini dilakukan untuk menentukan *Residence Time*. Setiap tahap pengumpanan, diukur pH, suhu, COD dan produksi biogas yang diperoleh.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penelitian Laboratorium

a. Proses Fermentasi Semi-aerob/Composting

Selama pengomposan dilakukan pengukuran suhu, pH, TS (*Total Solid*), VS (*Volatile Solid*), VFA (*Volatile Fatty Acid*), kadar air, kadar abu dan C/N rasio. Hasil pengomposan bagase tebu dan limbah nanas ditunjukkan dalam Tabel 2, yang digunakan sebagai substrat dalam proses anaerobik dan dipilih pengomposan dengan EM4 yang mempunyai nilai C/N rasio mendekati nilai yang diinginkan.

Hasil pengomposan bagase tebu dan limbah nanas ini selanjutnya dicampur dengan kotoran sapi sesuai dengan perlakuan yaitu C/N 25, 30 dan 35, seperti pada Tabel 1.

b. Pengaruh Perlakuan Anaerob pada Sistem Batch

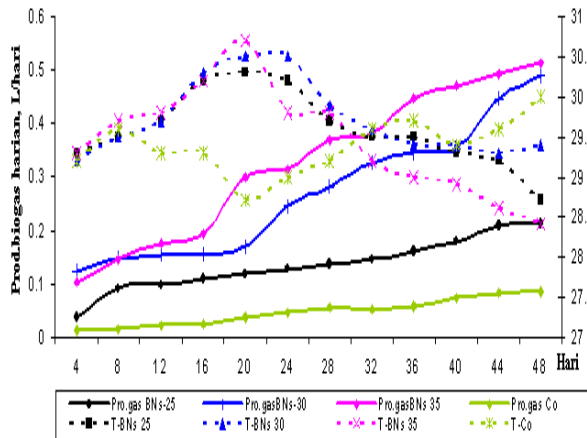
Proses degradasi anaerob dan pembentukan gas metan ditunjukkan dengan adanya perubahan pada parameter-parameter proses. Pada semua perlakuan, suhu digester cenderung berfluktuasi. Ini mengindikasikan

aktivitas mikroba selama 48 hari masih berlangsung. Mikroba yang bekerja adalah jenis mesofilik, karena aktivitasnya pada suhu 28,7^o – 30,4^oC (Nagamani 2006). Semakin tinggi suhu, reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang. Pada Gambar 3a, 3b dan 3c ditunjukkan perubahan suhu bagase tebu, limbah nanas dan campuran bagase dan limbah nanas sebagai substrat terhadap laju produksi gas selama proses fermentasi anaerobik. Pada bagase tebu penurunan suhu tidak terlalu mempengaruhi laju produksi gas, karena pada suhu tersebut.

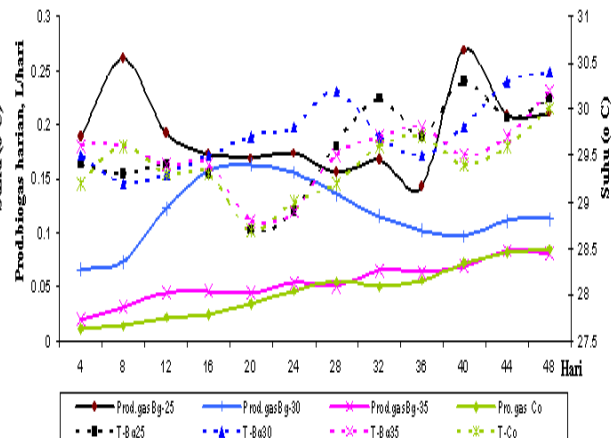
Perubahan suhu ketiga jenis substrat terhadap laju produksi biogas bakteri masih mampu beraktivitas. Produksi gas kumulatif tertinggi dicapai oleh Bg-25 sebesar 8,16 L pada suhu 29,3^o – 30,3^oC. Pada limbah nanas, suhunya cenderung menurun. Ini menunjukkan aktivitas mikroba mulai menurun. Menurut Chaiprasert *et al* (2001) pada kondisi mesofilik, aktivitas mikroba pada limbah nanas menghasilkan produk intermediat seperti asam propionat yang berperan dalam pembentukan gas metan, yang tidak terbentuk dalam kondisi termofilik. Penurunan suhu campuran bagase dan limbah nanas terus berlangsung sampai hari ke-40. Pada hari ke-28 dicapai laju produksi gas tertinggi oleh BNs-35 sebesar 514 mL/hari dengan suhu 29,8^o C. Laju produksi gas pada substrat campuran bagase tebu dan limbah nanas mendekati laju produksi gas pada substrat limbah nanas (523 mL/hari). Ini menunjukkan bahwa pada substrat campuran, senyawa organik yang terkandung dalam limbah nanas akan lebih mudah terdegradasi dan mendukung aktivitas mikroba anaerob untuk pembentukan asam lemak menguap (VFA), asam laktat, etanol dan senyawa sederhana lainnya. Sedangkan bagase tebu karena memiliki kadar lignin yang relatif tinggi, agak sulit untuk dilakukan degradasi.

Tabel 3. Karakteristik awal dan akhir pengomposan bahan baku substrat

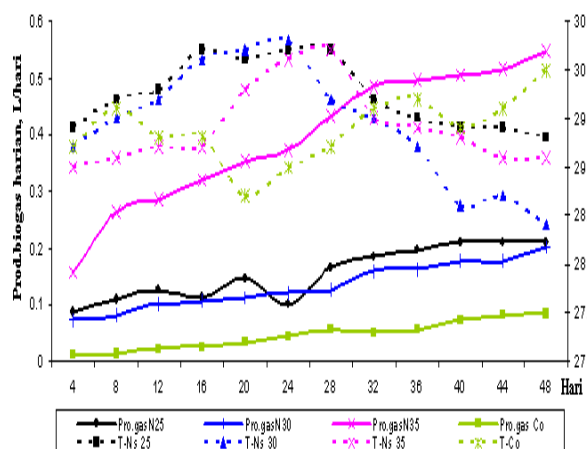
Parameter	Bagase Tebu	Kulit Nanas	Bagase Tebu/ Akhir		Kulit Nanas/ Akhir	
	Awal	Awal	EM4	Acticomp	EM4	Acticomp
TS (%)	55,24	6,37	12,86	16,56	3,89	4,22
VS(%)	54,24	5,8	11,90	15,74	2,16	3,04
Kadar Air (%)	44,76	93,63	87,14	83,44	96,11	95,78
Kadar Abu (%)	7,89	0,57	0,96	0,82	0,1	0,1
C (%)	22,75	67,7	6,48	8,59	39,53	44,76
TKN (%)	0,10	0,93	0,10	0,10	2,08	2,51
Temp.(^o C)	31,3	32,2	33,4	34,2	34,5	33,6
pH	6,32	5,85	6,95	7,37	7,27	7,62
Rasio C/N	227,5	72,80	64,8	85,9	19,12	17,83
VFA(mM)	68,37	21,71	74,11	104,78	30,67	89,44



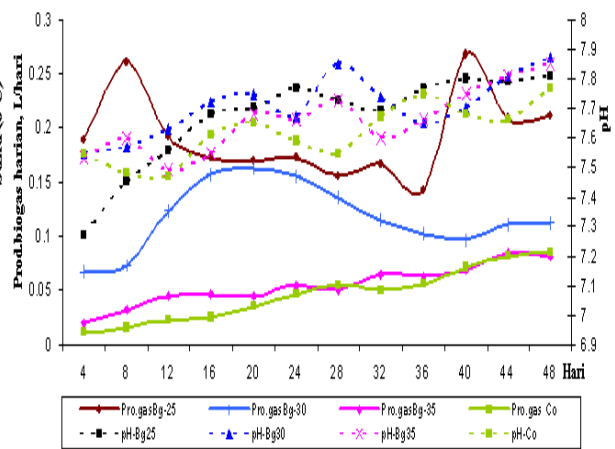
Gambar 3a. Perubahan suhu bagase tebu terhadap laju produksi biogas



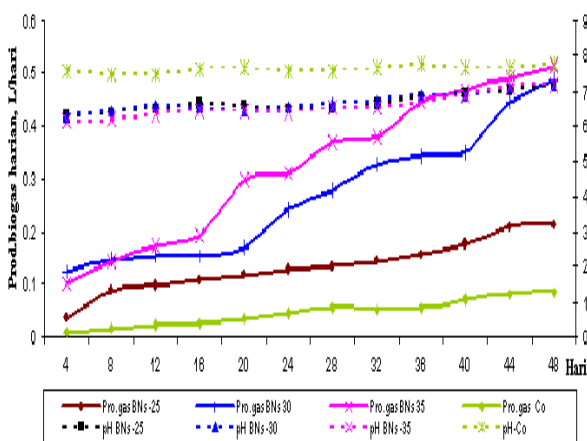
Gambar 3b. Perubahan suhu limbah nanas terhadap laju produksi biogas



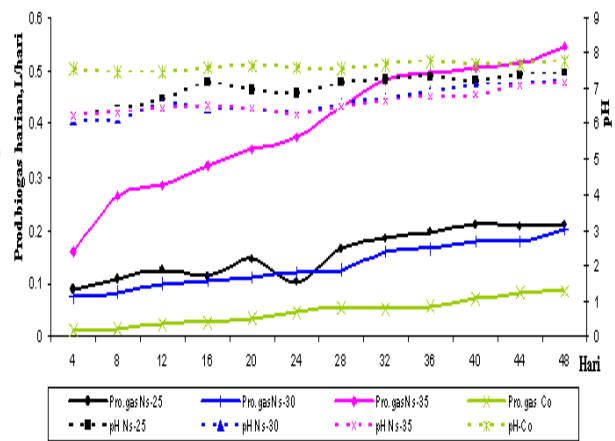
Gambar 3c. Perubahan suhu campuran bagase dan limbah nanas terhadap laju produksi biogas



Gambar 4a. Perubahan pH bagase tebu terhadap produksi biogas



Gambar 4b. Perubahan pH limbah nanas terhadap produksi biogas



Gambar 4c. Perubahan pH campuran bagase dan limbah nanas terhadap produksi biogas

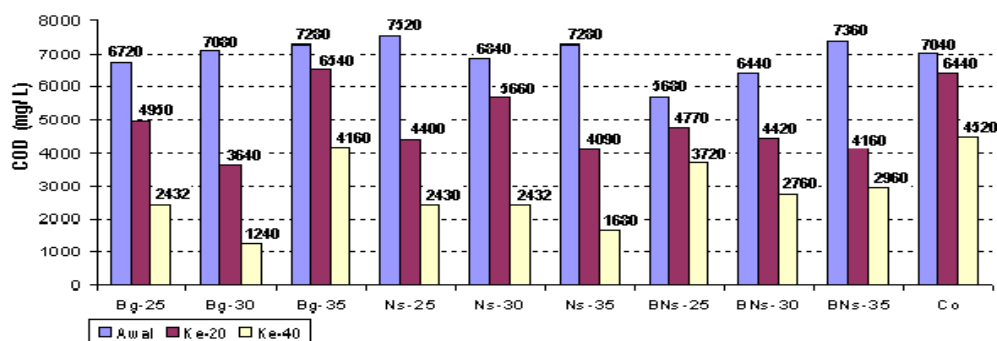
Nilai pH berfluktuasi, selain pH mengalami penurunan, pH juga mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada proses aerobik telah dihasilkan gas amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Amonia merupakan gas yang bersifat basa sehingga menaikkan pH (Sahidu 1983). Pada Gambar 4 ditunjukkan perubahan pH dari ketiga substrat terhadap laju produksi biogas. Bagase memiliki masa inkubasi yang relatif

panjang ($\pm 60 - 80$ hari) maka dimungkinkan terjadinya fluktuasi pH, karena proses fermentasi masih berlangsung. Pada hari ke-20 dan ke-40 bagase mempunyai nilai pH yang sama, yakni $\pm 7,75$ dan laju produksi gas yang berfluktuasi. Nilai pH limbah nanas selama proses fermentasi anaerobik menunjukkan kecenderungan meningkat pada hari ke-12 sampai hari ke-16 dan pada hari ke-40 mencapai $\pm 7,44$ dan cende-

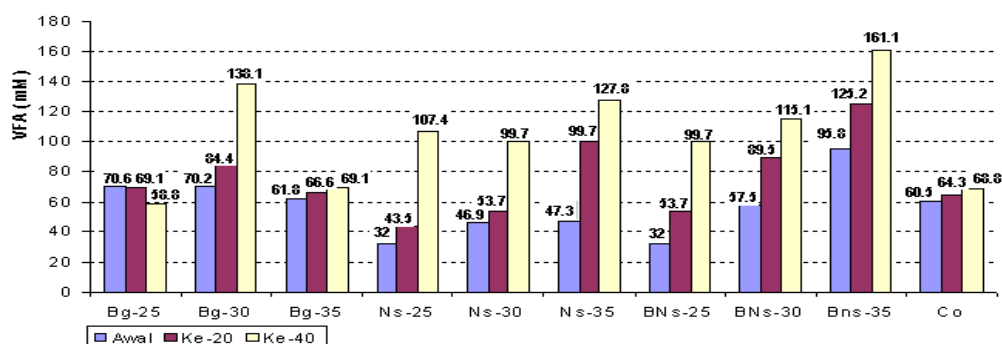
rung konstan. Pada hari ke-20 nilai pH dari BNs-35 mencapai 6,42 dan pada hari ke-48 nilai pH dari ketiga substrat campuran sama, yakni $\pm 7,16$.

Dalam proses pendegradasian, substrat akan mengalami penurunan jumlah kandungan bahan organik, sehingga nilai COD yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Penurunan COD pada Gambar 5 menunjukkan terjadi konsumsi substrat yang telah terdegradasi oleh bakteri ataupun mikroorganisme lainnya. Nilai COD pada bagase tebu dengan C/N 35 (Bg-35) dan kontrol menunjukkan kecenderungan penurunan nilai

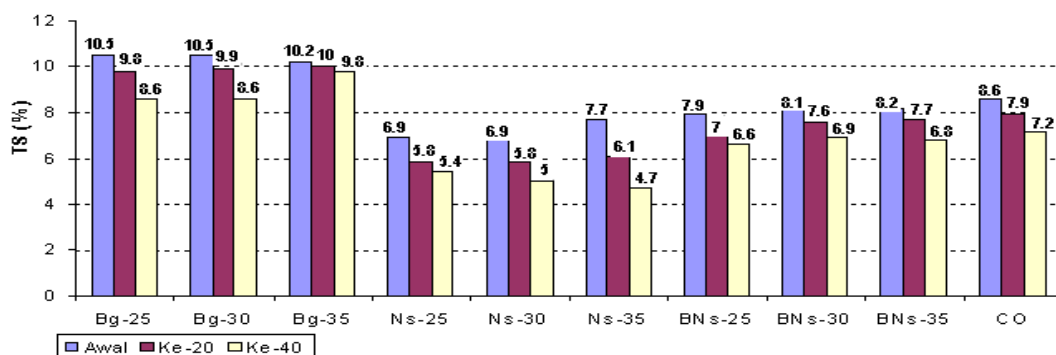
COD yang relatif hampir sama. Ini disebabkan oleh kurang optimalnya konsumsi senyawa organik oleh bakteri, atau tingginya laju penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana (Budhi *et al.* 1999). Efisiensi laju penurunan pencemar organik COD sangat dipengaruhi oleh kondisi pH substrat (Mahajoeno 2008). Pada Bg-30 diperoleh efisiensi COD tertinggi sebesar 82,5 % dengan pH berkisar 7,55–7,87.



Gambar 5. Kadar COD dari ketiga jenis substrat



Gambar 6. Kadar VFA dari ketiga substrat pada proses anaerobik



Gambar 7. Kadar TS (%) dari ketiga jenis substrat pada proses anaerobik

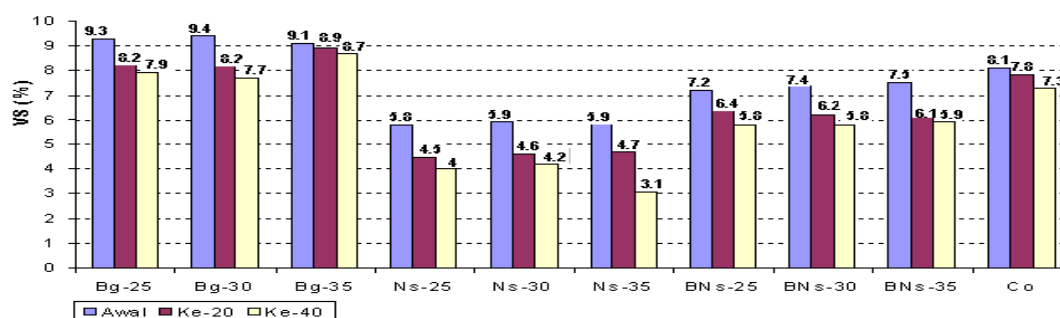
Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa VFA tertinggi sebesar 95,84 mM pada awal proses, hari ke-20 VFA mencapai 125,24 mM dan hari ke-40 VFA mencapai 161,03 mM dihasilkan oleh BNs-35. Ini menunjukkan bahwa pembentukan VFA pada BNs-35 mencapai optimal, karena ketersediaan sumber C (karbon), baik dari bagase tebu maupun dari limbah nanas. Kadar VFA yang rendah dapat terjadi karena pengaruh pH,

dimana ketika VFA terakumulasi dalam campuran bahan dan menjadi meningkat jumlahnya, maka pH akan mengalami penurunan dan bersifat asam (Han Qi Yu *et al.* 2002). Pada perlakuan Bg-25 terjadi penurunan VFA, hal ini dimungkinkan karena rendahnya konsentrasi substrat yang digunakan, sehingga VFA yang terbentuk mengalami penurunan, karena pada tahap metanogenesis asam asetat yang terkandung

dalam VFA tersebut diubah oleh bakteri metanogen menjadi metan (CH_4). Hal ini dinyatakan dengan adanya kandungan CH_4 sebesar 75% yang dihasilkan dari perlakuan Bg-25 adalah yang tertinggi. Nilai pH rendah < 6 pada awal proses, akan mengakibatkan tidak maksimalnya mikroorganisme untuk menghasilkan metan, karena terjadi denaturasi enzim dalam mikroba yang berperan dalam tahap metanogenesis (Nijaguna 2002).

Hasil degradasi terlihat pada Gambar 7 dengan penurunan TS. Dari perlakuan Bg-35 dan kontrol penurunan TS tidak signifikan. Ini mungkin disebabkan kandungan lignin yang cukup tinggi pada bagase, sehingga proses degradasi atau perombakan bahan organik membutuhkan waktu relatif lama. Penurunan TS dalam substrat tidak berbanding lurus terhadap laju produksi gas. Hal ini disebabkan karena tidak semua

padatan dapat dimanfaatkan oleh mikroba. Efisiensi TS pada bagase sebesar 18,1% diperoleh dari perlakuan Bg-25 dengan nilai TS awal sebesar 10,5% (w/v). Pada perlakuan Ns-35 dengan nilai TS awal sebesar 7,7% (w/v) diperoleh efisiensi TS tertinggi sebesar 39%. Sedangkan efisiensi TS pada campuran bagase dan limbah nanas sebesar 17% diperoleh dari perlakuan BNs-35 dengan nilai TS awal sebesar 8,8% (w/v). Pada fermentasi anaerobik selama 40 hari, kadar TS bagase pada perlakuan Bg-25 sebesar 8,6% (w/v) sama dengan kadar TS bagase yang diperoleh Osman *et al* (2003) yakni sebesar 8,8% (w/v). Sedangkan kadar TS limbah nanas pada perlakuan Ns-35 sebesar 7,7% (w/v) lebih kecil dari kadar TS limbah nanas yang diperoleh Bardiya *et al.* (1996) yakni sebesar 49% (w/v) pada fermentasi anaerobik selama 30 hari.



Gambar 8. Kadar VS (%) dari ketiga jenis substrat pada proses anaerobik

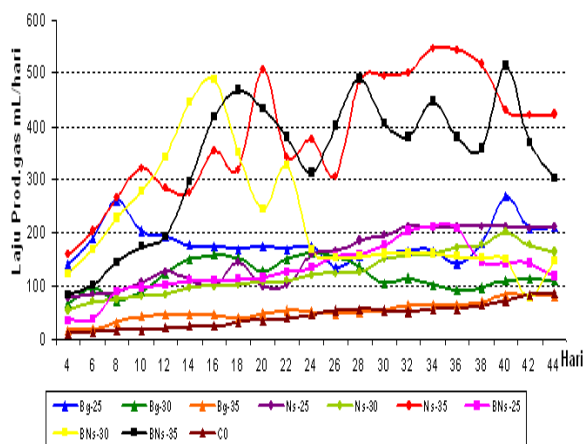
Pada Gambar 8 ditunjukkan nilai VS pada awal, hari ke-20 dan hari ke-40 dari ketiga substrat yang digunakan. Pola penurunan pada TS dan VS tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa hampir seluruh TS dari substrat terdegradasi menjadi VS yang dapat digunakan oleh bakteri untuk menghasilkan biogas. Efisiensi VS tertinggi diperoleh pada perlakuan Ns-35 sebesar 47,5 % dengan kadar VS awal sebesar 5,9% (w/v). Kadar VS bagase pada perlakuan Bg-25 sebesar 9,3% (w/v) jauh lebih rendah dari kadar VS bagase yang diperoleh Osman *et al* (2003) yakni sebesar 86,4% (w/v). Demikian juga kadar VS limbah nanas pada perlakuan Ns-35 sebesar 5,9% (w/v) jauh lebih kecil dari kadar VS limbah nanas yang diperoleh Bardiya *et al.* (1996) yakni sebesar 51% (w/v) pada fermentasi anaerobik selama 30 hari. Perbandingan antara TS dan VS pada perlakuan kontrol, tidak jauh berbeda yaitu 8,6 dan 8,1. Ini menunjukkan bahwa hampir seluruh TS pada bagase terdegradasi menjadi VS yang dapat digunakan oleh bakteri untuk menghasilkan biogas. Proses kombinasi semi-aerob dan anaerob belum optimal, disebabkan mikroba sangat peka terhadap faktor lingkungan, sehingga aktivitasnya kurang stabil. Selain itu mikroba yang berperan heterogen, karena proses degradasi anaerob terjadi beberapa tahapan dan setiap tahapan jenis mikroba yang berperan berbeda (Reith *et al.* 2003).

c. Produksi dan Komposisi Biogas

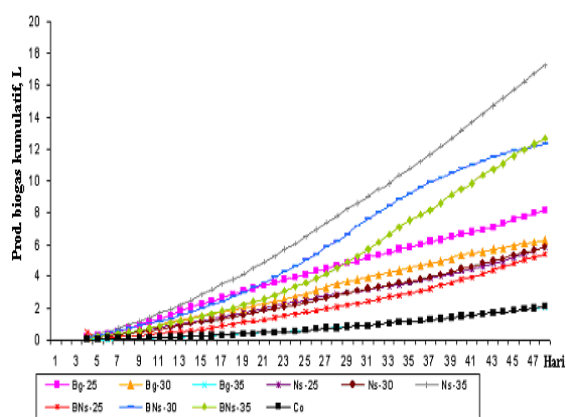
Pada Gambar 9 ditunjukkan laju produksi dan produksi kumulatif biogas yang dihasilkan dalam proses anaerobik diukur setiap hari selama proses fermentasi 48 hari. Produksi biogas mulai terlihat pada hari ke-4. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa laju produksi biogas tertinggi dicapai oleh perlakuan Ns-35, BNs-35 dan BNs-30 berturut-turut sebesar 523 mL/hari, 514 mL/hari dan 466 mL/hari.

Laju produksi biogas harian bagase yang diperoleh lebih kecil dibandingkan laju produksi biogas harian yang diperoleh Pound *et al.* (1981) sebesar 375 mL/hari dari limbah batang tebu dengan komposisi terdiri 20% inokulum: 56,7% *slurry* segar : 23,3% limbah batang tebu. Sedangkan laju produksi pada Bg-35 relatif sama dengan laju produksi biogas pada kontrol. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan substrat sangat menentukan laju produksi biogas. perlakuan Ns-35 dengan kadar TS 7,7% (w/v) mampu menghasilkan biogas sebanyak 17,2 L atau 203,1 L/kg TS, BNs-35 dengan kadar TS 8,2% (w/v) mampu menghasilkan biogas sebanyak 12,6 L atau 69,9 L/kg TS dan BNs-30 dengan kadar TS 8,1% (w/v) menghasilkan biogas sebanyak 12,3 L atau 32,3 L/kg TS. Produksi biogas kumulatif tertinggi dari perlakuan Ns-35 yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 203,1 L/kg TS jauh lebih kecil dibandingkan produksi kumulatif yang diperoleh Bardiya *et al.* (1996) sebesar 413 L/kg TS dari fermentasi anaerob limbah nanas selama 40 hari.

Sedangkan produksi biogas kumulatif bagase tebu dari perlakuan Bg-25 yang diperoleh sebesar 78,1 L/kg TS lebih tinggi daripada yang diperoleh Pound *et al* (1981) sebesar 18 L/kg TS dari limbah batang tebu dengan komposisi 20% inokulum: 56,7% *slurry* segar: 23,3% limbah batang tebu. Produksi biogas kumulatif Bg-25 yang diperoleh juga lebih besar dari yang diperoleh Osman *et al.* (2006) yakni sebesar 51,5 L/kg TS dari campuran bagase tebu dan kotoran ayam.



Gambar 9a. Laju produksi biogas dari ketiga jenis substrat pada proses anaerob



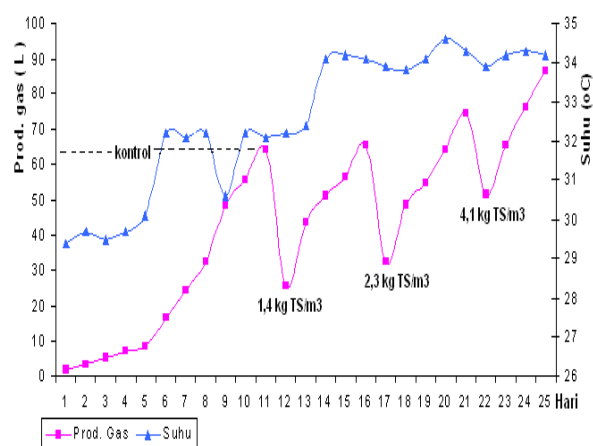
Gambar 9b. Produksi kumulatif biogas dari ketiga jenis substrat pada proses anaerob

Pada Tabel 4 persentase CH_4 dari hari ke-20 sampai hari ke-40 menunjukkan peningkatan. Pada awal proses anaerob akan terbentuk gas CO_2 . Ini terjadi pada tahap hidrolisis dan asidogenesis. Pada hari ke-20 proses fermentasi telah mencapai tahap pembentukan gas metan (CH_4) namun belum optimal, sedangkan pada hari ke-40, proses anaerob tahap metanogenesis telah mencapai kestabilan, sehingga pembentukan gas metan dapat mencapai optimal. Hal ini juga menunjukkan adanya keseimbangan antara laju proses asidogenesis dan metanogenesis (Chanakya *et al.* 1999). Kualitas biogas yang dihasilkan ditentukan dengan besarnya persentase CH_4 . Menurut Chanakya *et al.* (1999) komposisi gas metan (CH_4) yang dihasilkan dari biogas dengan bahan baku bagase tebu > 60%, sedangkan pada kondisi mesofilik, komposisi CH_4 yang dihasilkan dari biogas dengan bahan baku limbah nanas mencapai 79 % (Chaiprasert *et al.* 2001). Quali-

tas biogas terbaik ditunjukkan oleh perlakuan Bg-25 dengan kadar TS sebesar 10,5% (w/v) menghasilkan CH_4 sebesar 75%, BNs-35 dengan kadar TS sebesar 8,2% (w/v) menghasilkan CH_4 sebesar 74% serta Bg-30 dengan kadar TS sebesar 10,5% (w/v) menghasilkan CH_4 sebesar 70%. Kadar TS bahan ikut berperan dalam menentukan kadar CH_4 yang dihasilkan. Namun tingginya kualitas biogas pada perlakuan Bg-25 dan Bg-30 tidak diimbangi dengan laju produksinya. Pada perlakuan Ns-35 dengan kadar TS sebesar 7,7% (w/v) mampu menghasilkan biogas tertinggi, yakni sebesar 203,1 L/kg TS memiliki kandungan CH_4 sebesar 67%, maka diperoleh 136,1 L CH_4 /kg TS. Kandungan CH_4 terendah diperoleh dari perlakuan Bg-35 yakni sebesar 44%, sedangkan pada kontrol diperoleh kandungan CH_4 sebesar 65%.

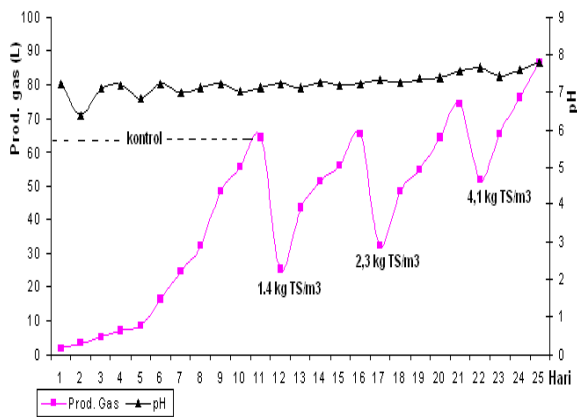
d. Skala Semi-Kontinyu

Pengaruh laju umpan terhadap suhu, nilai pH dan produksi biogas dilakukan dengan menggunakan Ns-35 dengan laju umpan 1,4kg TS/L/m³; 2,3kg TS/L/m³ dan 4,1 kg TS/L/m³ selama 3 hari berturutan. Sebagai kontrol digunakan kotoran sapi dengan laju umpan 24,8 kg TS/m³ laju produksi biogas mencapai 64,4 L/hari.



Gambar 10a. Pengaruh laju umpan pada suhu

Pada awal pengumpanan terjadi penurunan produksi biogas, dan selanjutnya laju produksi biogas kembali meningkat seiring dengan meningkatnya laju pengumpanan hingga mencapai 86,6 L/hari pada laju pengumpanan 4,1 kg TS/L /hari. Ini menunjukkan bahwa laju pengumpanan yang diberikan tidak cukup mempengaruhi laju produksi biogas. Hal ini dimungkinkan karena limbah nanas didekomposisi secara cepat dan hanya sebagian kecil yang tersisa dalam proses fermentasi anaerob. Menurut Chanakya *et al.* (2006) limbah buah-buahan dalam bentuk *Solid state Stratified Bed* (SSB) dengan laju umpan sebesar 2 gr TS/L/hari tidak mempengaruhi proses fermentasi anaerobik.



Gambar 10b. Pengaruh laju umpan pada pH

Pada awal proses fermentasi anaerob, suhu substrat mencapai $29,4^{\circ}\text{C}$ dan meningkat sampai hari ke-8 mencapai $32,2^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada hari ke-9 suhu mengalami penurunan mencapai $30,6^{\circ}\text{C}$. Hal ini mungkin disebabkan pengadukan yang kurang homogen, sehingga mengganggu aktivitas mikroba pendegradasi. Pada hari ke-14 suhu mengalami peningkatan mencapai $33,8^{\circ}\text{C}$ – $34,6^{\circ}\text{C}$ dan cenderung stabil seiring dengan penambahan laju pengumpanan. Hal ini menunjukkan bahwa *Residence Time* yang diperoleh adalah 14 hari. Penambahan umpan awal dapat mengoptimalkan aktivitas mikroba yang

menyebabkan peningkatan suhu, namun setelah *Residence Time* kecenderungan suhu menjadi tetap, dimungkinkan karena jenis mikroba yang bekerja adalah mesofilik dengan rentang suhu $29,4^{\circ}\text{C}$ – $34,6^{\circ}\text{C}$. Hasil yang diperoleh pada Gambar 10b menunjukkan bahwa produksi biogas yang fluktuatif dengan nilai pH substrat $6,38$ – $7,78$ menunjukkan kecenderungan nilai pH yang stabil sampai pada laju pengumpanan $4,1\text{ kg TS/L/hari}$. Menurut Yacoeb *et al.* (2006) bahwa kondisi pH hasil perombakan masih memungkinkan mendukung aktivitas bakteri metanogenik sehingga produksi biogas masih dapat meningkat. Nilai pH yang tidak kurang dari 7 mengindikasikan bahwa biodegradasi asam-asam organik berlangsung dengan baik. Menurut Berardino *et al* (2000) proses digestasi anaerobik dengan sistem semi kontinyu pada limbah cair industri makanan berlangsung baik pada kondisi pH $7,2$ – $8,4$.

Dari hasil analisa kandungan CH_4 pada sistem kontinyu diperoleh kandungan CH_4 sebesar $\pm 70\%$. Hasil ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Chaiprasert (2001) bahwa limbah nanas dengan masa inkubasi 30 hari mempunyai kandungan metan (CH_4) berkisar 60% .

Tabel 4. Produksi kumulatif dari kandungan CH_4 dalam sistem

Jenis Substrat	Prod. Gas Kumulatif (ml)	Kandungan (%)	Metan CH_4
		20 Hari	40 Hari
Bg-25	8159	45	75
Bg-30	5944	48	70
Bg-35	2068	24	44
Ns-25	5835	45	61
Ns-30	4824	47	55
Ns-35	17236	48	67
BNs-25	5364	27	55
BNs-30	12321	28	57
BNs-35	12615	31	74
Co	2063	33	65

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

1. Pada skala laboratorium, produksi biogas dengan masa fermentasi selama 48 hari, menggunakan bioreaktor volume 20 liter dengan sistem *batch* dipengaruhi oleh faktor lingkungan biotik berupa konsentrasi inokulum dan faktor abiotik berupa suhu dan pH substrat.
2. Didapatkan 3 perlakuan terbaik untuk produksi biogas selama 48 hari, yaitu perlakuan Ns-35 dengan kadar TS $7,7\%$ (w/v) menghasilkan biogas sebanyak $17,2\text{ L}$ dengan atau $203,1\text{ L/kg TS}$ dengan

- kandungan CH_4 sebesar 67% , perlakuan BNs-35 dengan kadar TS $8,2\%$ (w/v) mampu menghasilkan biogas sebanyak $12,6\text{ L}$ atau $69,9\text{ L/kg TS}$ dengan kadar CH_4 sebesar 74% dan BNs-30 dengan kadar TS $8,1\%$ (w/v) menghasilkan biogas sebanyak $12,3\text{ L}$ atau $32,3\text{ L/kg TS}$ dengan kandungan CH_4 57% .
3. Pada perlakuan Bg-30 diperoleh efisiensi penurunan COD tertinggi sebesar $82,5\%$, sedangkan pada perlakuan Ns-35 diperoleh efisiensi TS dan VS tertinggi masing-masing sebesar 39% dan $47,5\%$. Pada perlakuan BNs-35 diperoleh pembentukan VFA tertinggi mencapai $161,03\text{ mM}$.
4. Pada bioreaktor volume 300 L sistem semi-kontinyu dengan laju umpan sebesar $1,4\text{ kg TS/L/hari}$, $2,3\text{ kg TS/L/hari}$ dan $4,1\text{ kg TS/L/hari}$ meng-

hasilkan biogas optimal sebesar 64,4L/hari dan kandungan 70% CH₄.

4.2. Saran

1. Pemanfaatan limbah nanas sebagai bahan campuran dengan kotoran ternak sebagai penghasil biogas, sebaiknya tidak melebihi 50%, sedangkan bagase tebu secara ekonomis tidak layak di gunakan sebagai bahan baku biogas karena digunakan sebagai bahan bakar boiler.
2. Diperlukan penelitian sistem kontinyu dengan variasi parameter proses lebih beragam dengan waktu yang lebih lama dan analisa terhadap kualitas produk samping yang dihasilkan berupa pupuk padat dan pupuk cair.

Daftar Pustaka

- [1] Berardino, D., S. Costa., A. Converti, 2000 Semi-continuous digestion of food Industry wastewater in anaerobic filter. Bio-resoure Technology, Elsevier Science Ltd. 711, pp. 261-266.
- [2] Budhi, Y. W., *et al.*, 1999. Peningkatan biodegradabilitas limbah cair printing industri tekstil secara anaerob. *Jurnal ITB Bandung*.
- [3] Chaiprasert, P., S. Bhumiratana, M. Tanticharoen, 2001. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of pineapple cannery wastes. *Thammasat Int. J. Sc.Tech.* 6(2), pp. 1-9.
- [4] Chanakya, et al., 1999. Fermentation properties of agro residues, leaf biomass and urban market garbage in a solid phase biogas fermenter. *Biomass and Bioenergy*. 16, pp. 417-429.
- [5] Chanakya, H. N., et al., 2006 Micro-Treatment options for Components of organic fraction of MSW in residential areas. *Environ. Monit. Assess.* Centre for Sustainable Technologies. Indian Institute of Science, Bangalore.
- [6] Fry, I. J., 1974. *Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence*. Standard Printing Santa Barbara, California.
- [7] Han, Q. Y. et. al, 2002. Hydrogen production from rice wine-ry wastewater in an upflow anaerobic reaktor by using mixed anaerobic culturs. *Applcation. J. Microbiol. Biotechnol.* (27), pp. 1359-1359.
- [8] Mahajoeno, E., 2008. *Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit*. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [9] Osman, G. A., A. H. El Tinay, E. F. Mohamed, 2006. Biogas production from agricultural wastes. *Journal of Food Technology* 4, pp. 37 – 39.
- [10] Reith, J. H., H. den Uil, h. van Veen, W. T. Laat, J. J. Niessem, E. de Jong H. W. Elbersen, R. eusthuis, J. P. van Dikjen L. Raamsdonk, 2003. Coproduction of Bio-ethanol, Electricity and heat from biomass residucs. *Proceedings of the 12th European Conference on Biomass and Energy, Industry and Climate Protection*, 17-21 June 2002, Amsterdam, pp. 1118-1123.
- [11] Sahidu, S., 1983. *Kotoran Ternak sebagai Sumber Energi*. Dewaruci Press, Jakarta.
- [12] Yani, M., A. A. Darwis, 1990. *Diktat Teknologi Biogas*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi- IPB, Bogor.