



Evaluasi Pengaruh Konsentrasi Umpan pada Produksi Biogas dari Limbah Cair Industri Alkohol secara *Fed Batch*

Dewi Astuti Herawati^{1*}, Argoto Mahayana²

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi

²Program Studi D3 Analisis Kimia, Universitas Setia Budi

*Alamat korespondensi: dewitkusb@gmail.com

(Submisi;; Revisi;; Penerimaan:)

ABSTRACT

Biogas is an alternative energy source that can be renewed as one of the solutions for the scarcity of fossil energy. Liquid waste from industrial bioalcohol production (technically termed as "vinasse") is potentially one of very promising raw material of biogas. Vinasse has low pH value (4-5), which is not preferable for metanogen. Therefore this study aimed to define the optimum condition for the production of biogas. The variable to be studied in this research was the influence of vinasse to water ratios on the production of biogas in a fed batch reactor. Three ratios of vinasse and water with the ratios of vinasse to water as 1:2 (R1); 1:2.5 (R2); and 1:3 (R3) were studied. As much as 500 mL of raw material was fed to bioreactor with 6 L of cow manure as starter inoculums. The reactor was fed once every three days, with the feed input as much as 500 mL. At the beginning of the process, total solid suspended (TSS), volatile suspended solid (VSS) and chemical oxygen demand (COD) were analyzed. The volume of biogas was measured every day while the TSS and VSS values were measured once a week. The results showed that the production of biogas at R1 reached 1640.95 ml on day 9 with pH 7, CH₄ concentration of 9.89% and CO₂ level of 36.93%. The biogas production at R2 on day 20 reached 119.67 mL with a methane content of 15.85%, 43.282% of CO₂ level, and pH 5. In R3 the volume biogas generated on day 10 reached 158.24 mL with CH₄ content of 35.36%; 35.27% of CO₂ level and pH 7. Fed batch system was shown to reduce the effects of inhibitor.

Keywords: biogas, vinasse, levels of CH₄, fed batch.

ABSTRAK

Biogas merupakan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui sehingga dapat mengurangi kelangkaan kebutuhan energi. Limbah cair industri alkohol (*vinasse*) berpotensi sebagai salah satu bahan baku biogas. *Vinasse* dengan nilai pH relatif rendah (4-5) bukan bahan baku yang mendukung pertumbuhan bakteri metanogen, sehingga diperlukan penelitian untuk mengatur kondisi yang terbaik pada produksi biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan *vinasse* dan air terhadap produksi biogas secara *fed batch*. Berbagai perbandingan *vinasse* dan air, yaitu 1:2 (R1); 1:2,5 (R2); dan 1:3 (R3) sebanyak total 500 mL diumpukan ke bioreaktor setiap 3 hari sekali dengan jumlah *starter* kotoran sapi sebanyak 6 L. Sebagai karakterisasi bahan baku, dilakukan analisis *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatile Suspended Solid* (VSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) awal. Volume biogas diukur setiap hari. Sepanjang proses berjalan, kandungan TSS, VSS dan COD dianalisis setiap 1 minggu sekali. Analisis TSS dan VSS dengan metode APHA 2005 dan COD dengan metode SNI (2009) serta volume biogas dengan manometer air. Hasil penelitian menunjukkan

produksi biogas pada R1 diperoleh akumulasi volume biogas sebanyak 1640,95 mL, pada hari ke-9 dengan pH 7 serta kadar CH₄ sebesar 9,89% dan kadar CO₂ sebesar 36,93%. Pada rancangan 2 (R2) volume biogas terbesar dihasilkan pada hari ke-20 sebesar 119,67 mL dengan kadar metana sebesar 15,85%, kadar CO₂ sebesar 43,28% dan pH 5. Pada rancangan 3 (R3) volume biogas terbesar dihasilkan pada hari ke-10 sebesar 158,24 mL dengan kadar metana sebesar 35,36%, kadar CO₂ sebesar 35,27% dan pH 7. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pengumpanan secara *fed batch* campuran *vinasse* dan air pada produksi biogas setiap 3 hari sekali dapat menekan efek inhibitor. Bahan organik yang telah terdegradasi menjadi gas secara rutin ditambahkan sehingga bahan organik yang terdapat di dalam substrat selalu ada. Kondisi ketersediaan substrat yang cukup akan menghasilkan biogas maksimal.

Kata kunci: biogas, *vinasse*, kadar CH₄, *fed batch*

1. Pendahuluan

Limbah cair industri alkohol (*vinasse*) merupakan limbah hasil penyulingan yang memiliki daya polusi tinggi dan nilai penumpukan tinggi. Kekuatan polusinya mencapai 100 kali lebih kuat daripada limbah domestik, kaya bahan organik dengan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Oleh karena itu, *vinasse* tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan karena rendahnya kemampuan degradasi atau pengurangan kadar logam dan nonorganik pada *vinasse* tersebut. Limbah cair industri alkohol (*vinasse*) kaya bahan organik berpotensi sebagai salah satu bahan baku biogas. *Vinasse* yang mempunyai nilai pH rendah (4-5) bukan merupakan kondisi yang mendukung metanogen, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengatur kondisi yang terbaik pada produksi biogas (Puspita, 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pengaruh perbandingan *vinasse* dan air pada umpan untuk produksi biogas secara *fed batch*. Sistem *fed batch* merupakan suatu sistem yang menambahkan substrat baru secara teratur pada kultur tertutup dengan volume kultur makin lama makin bertambah tanpa mengeluarkan cairan kultur yang ada di dalam *fermentor* (Widjaja, 2010). Menurut Rusmana (2008), *fed-batch* yaitu memasukkan sebagian nutrisi (sumber C, N dan lain-lain) ke dalam bioreaktor dengan volume tertentu hingga diperoleh produk yang mendekati maksimal namun konsentrasi sumber nutrisi dibuat konstan. Keuntungan yang didapat dengan sistem *fed batch* ialah konsentrasi sisa substrat terbatas dan dapat dipertahankan pada tingkat

yang sangat rendah sehingga dapat mencegah fenomena represi katabolit atau inhibisi substrat.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri bioalkohol, *starter* berupa kotoran sapi, air, K₂Cr₂O₇ (p.a. Merck), H₂SO₄ (p.a. Merck), phenantrolin monohidrat (p.a. Merck), Fe(NH₄)₂SO₄ (p.a. Merck), dan indikator feroin (p.a. Sigma-Aldrich). Peralatan yang digunakan berupa reaktor *batch* dengan selang untuk *input* substrat, lubang pengeluaran sampel, dan pipa pengeluaran gas yang dihubungkan dengan manometer air.

2.2 Prosedur Penelitian

Mula-mula reaktor diisi dengan *starter* kotoran sapi sebanyak 6 L. Selanjutnya umpan substrat dengan variasi perbandingan *vinasse* dan air = 1:2 (R1); 1:2,5 (R2); dan 1:3 (R3) sebanyak 500 mL diumpankan ke bioreaktor pada setiap variasi perbandingan, setiap 3 hari sekali. Di awal proses dilakukan analisis *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatile Suspended Solid* (VSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Volume biogas diukur setiap hari. Secara rutin kandungan *Total Suspended Solid*, *Volatile Suspended Solid* dan *Chemical Oxygen Demand* dianalisis setiap 1 minggu sekali. Analisis TSS dan VSS dilakukan mengikuti metode APHA 2005 dan COD dengan metode SNI (2009) serta volume biogas dengan manometer air.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kandungan Ratio C/N

Pada Tabel 1, disajikan komposisi bahan baku dan *starter*. Menurut Fry (1974) kandungan C/N menghasilkan tingkat optimum pada nilai 30. Pada penelitian ini kandungan C/N sangat tinggi karena sudah melewati tingkat optimum yaitu 102,34. Lamanya pembentukan biogas disebabkan oleh mutu substrat yang lebih rendah, dalam hal ini ditunjukkan dengan kandungan C/N tinggi. Akibatnya perkembangan mikroba lebih lama dibandingkan substrat yang ideal pada C/N optimum.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Industri Alkohol

Bahan	Karbon (%)	Bahan Organik (%)	Nitrogen (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	C/N (%)	pH
<i>Vinasse</i>	48,10	82,92	0,47	898,77	421,13	102,34	3,73
<i>Starter</i>	11,07	19,09	0,12	597,85	364,48	92,25	6,39

3.2 Total Suspended Solid (TSS)

Tabel 2 menunjukkan bahwa R1 mengalami penurunan TSS yang berlangsung mulai minggu ke-1, ke-2, ke-4 sampai ke-5. Pada R2 penurunan TSS terbesar terjadi pada minggu ke-3 dan ke-4. Pada R3 penurunan TSS berlangsung pada minggu ke-1, ke-4 dan ke-5. Penurunan TSS di tiap rancangan terjadi pada waktu yang tidak sama dikarenakan kandungan *vinasse* awal yang berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa kinerja reaktor dipengaruhi oleh konsentrasi *vinasse* pada umpan.

Di beberapa titik ada peningkatan nilai TSS di tiap rancangan. Hal ini menunjukkan bahwa ketika pengumpanan substrat, ada kemungkinan bahwa kecepatan degradasi substrat oleh mikrobia lebih lama dibandingkan penambahan substrat sehingga terjadi peningkatan TSS.

Tabel 2. Perubahan *Total Suspended Solid* pada Produksi Biogas

Minggu ke-	<i>Total Suspended Solid</i> (ppm)		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
0	331,19	292,17	276,63
1	323,85	357,36	303,30
2	181,76	449,78	351,05
3	230,26	201,96	425,58
4	50,12	173,38	34,61
5	11,40	220,11	9,78

3.3 Volatile Suspended Solid (VSS)

Tabel 3 menunjukkan bahwa *Volatile Suspended Solid* mengalami penurunan pada minggu pertama, kedua, ketiga dan kelima. Namun pada beberapa variabel terlihat adanya penurunan dan peningkatan nilai *Volatile Suspended Solid*. Hal ini sama dengan kecenderungan yang teramati pada TSS

Tabel 3. Perubahan *Volatile Suspended Solid* pada Produksi Biogas

Minggu ke-	<i>Volatile Suspended Solid</i> (ppm)		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
0	55,53	160,10	100,80
1	112,85	209,43	442,80
2	38,50	44,99	31,49
3	12,30	115,27	63,98
4	119,82	115,27	109,53
5	100,70	98,26	96,50

3.4 Kadar COD

Tabel 4 menunjukkan bahwa semua variasi rancangan mengalami fluktuasi nilai COD pada tiap minggu. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam *vinasse* merupakan senyawa kompleks yang diuraikan menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Semakin besar bahan organik yang diumpangkan maka semakin besar pula angka COD. Setelah terjadi populasi metanogen mencukupi, barulah terjadi penurunan COD yang stabil. Data pada Tabel 4 tampak fluktuatif, hal ini mengindikasikan bahwa jumlah metanogen dalam reaktor belum mencapai jumlah yang mencukupi.

Tabel 4. Perubahan Kadar COD pada Produksi Biogas

Minggu ke-	COD (mg/L)		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
0	46,25	53,75	37,50
1	28,25	121,88	27,75
2	56,50	58,25	32,88
3	50,00	43,25	28,75
4	55,00	53,75	32,25
5	61,75	55,50	30,75

3.5 Kadar CO₂

Kadar CO₂ pada semua variasi rancangan mengalami peningkatan pada minggu ke-5. Peningkatan jumlah gas CO₂ dari minggu sebelumnya merupakan salah satu indikasi kemungkinan penurunan kinerja bakteri di dalam reaktor. Masing-masing variasi rancangan

menghasilkan jumlah CO₂ yang berbeda karena perbedaan pada perbandingan *starter* dan *vinasse*. Gas CO₂ R1 dan R2 mengalami peningkatan pada tiap minggunya disebabkan karena bakteri yang memproduksi gas metana mulai kehabisan nutrisi, sehingga produksi gas metana menurun dan produksi gas CO₂ naik dari hari sebelumnya kecuali penurunan pada minggu ke-4. Hal ini kemungkinan disebabkan karena mikroba sudah memasuki fase stasioner menuju fase kematian. Hal ini adalah karakteristik reaktor *batch*. Ternyata pada reaktor dengan skema *fed batch* ini, karakter *batch* masih dominan. Pada R3 produksi CO₂ menurun tiap minggunya kecuali pada minggu ke-5 menunjukkan peningkatan. Data ini merupakan indikasi bahwa komposisi umpan pada R3 sudah mendekati komposisi ideal untuk skema *fed batch* dalam penelitian ini.

Tabel 5. Perubahan Kadar CO₂ pada Produksi Biogas

Minggu ke-	%volume CO ₂		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
1	34,11	29,88	35,27
2	36,93	43,28	33,69
3	56,48	57,27	29,53
4	39,82	33,69	31,20
5	53,35	44,22	44,78

Volume CO₂ yang dihasilkan pada biogas R1 dan R2 lebih besar dibanding volume CO₂ pada biogas R3 disebabkan proses metanogenesis tidak berjalan maksimal, terbukti akumulasi volume total biogas yang dihasilkan pada variasi tersebut hanya sedikit.

3.6 Kadar Metana

Tabel 6 menunjukkan bahwa pada tiap rancangan R1, R2 dan R3 menghasilkan gas metana (CH₄). Kadar CH₄ tertinggi dihasilkan pada R3 pada minggu ke-5 yaitu hari ke-35 sebesar 53,21%. R1 menghasilkan CH₄ tertinggi pada minggu ke-5 yaitu hari ke-35 sebesar 30,16%. R2 menghasilkan CH₄ sebesar 24,47% pada hari dan minggu yang sama yaitu minggu ke-5 hari ke-35.

Tabel 6. Perubahan Kadar CH₄ pada Produksi Biogas

Minggu ke-	%volume CH ₄		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
1	24,96	23,75	36,36
2	9,89	15,85	40,63
3	16,81	16,00	41,73
4	22,68	18,72	46,85
5	30,16	24,47	53,21

R1 menghasilkan gas metana terbesar 30,16% pada pH 4,5; dengan volume biogas sebesar 45,49 mL dan kadar CO₂ sebesar 53,35% pada hari ke-35. Nilai pH yang rendah menunjukkan bahwa metanogen belum berkembang dengan baik. Pada R2 terukur gas metana sebesar 24,47%; pH 4,5; biogas yang dihasilkan sebesar 15,82 mL dan CO₂ sebesar 44,23% pada hari ke-35. Sama seperti pada R1, nilai pH rendah juga mengindikasikan bahwa metanogen belum berkembang dengan baik. Hanya R3 yang menghasilkan gas metana lebih besar pada hari ke-35 yaitu sebesar 53,21% pada pH 6,8, biogas yang dihasilkan sebesar 119,98 dan CO₂ sebesar 44,78. Nilai pH pada R3 sudah menunjukkan pH optimum untuk pertumbuhan metanogen.

3.7 Volume Biogas

Volume biogas yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 7. Pada R1 volume biogas terbesar dihasilkan pada hari ke-9 sebesar 160,61 mL/hari, pada R2 volume terbesar dihasilkan pada hari ke-20 sebesar 119,67 mL/hari dan pada R3 volume terbesar dihasilkan pada hari ke-10 sebesar 158,24 mL/hari. Pada beberapa titik di semua variabel rancangan terjadi fluktuasi produksi biogas.

Tabel 7. Perubahan Kecepatan Produksi pada Pembentukan Biogas

Hari ke-	Kecepatan produksi (mL)		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	110,9658	39,1644	73,7794
8	71,208	20,769	11,868
9	160,6136	25,3184	27,4942
10	118,68	98,9	158,24
11	76,7464	67,252	28,681
12	17,4064	11,868	39,56
13	127,3832	85,6474	133,9106
14	59,34	53,406	15,824
15	53,406	12,857	28,681
16	73,186	55,384	5,934
17	32,637	47,472	5,0
18	41,538	46,483	7,912
19	49,6478	36,9886	34,2194
20	78,131	119,669	25,714
21	35,604	39,56	3,956
22	96,922	30,5	39,56
23	41,538	24,7	34,9
24	23,736	32,0	23,5
25	39,56	13,9	24,6
26	111,757	9,89	13
27	97,1198	93,5594	19,3844
28	14,835	16,813	18,791
29	15,824	9,89	5,934
30	37,7798	16,6152	13,4504
31	5,934	5,934	3,956
32	26,3074	18,9888	22,3514
33	6,1318	2,3736	5,5384
34	17,0108	8,3076	117,0976
35	45,494	15,824	119,978

Rancangan R1 menghasilkan biogas sebesar 160,60 mL pada hari ke-9. Hal ini disebabkan karena pH sudah berada pada kondisi yang bagus untuk pertumbuhan mikroorganisme. Rancangan R2 menghasilkan biogas sebesar 119,70 mL pada hari ke-20 kemudian mengalami penurunan karena kondisi substrat dan pH yang tidak sesuai, dan R3. menghasilkan biogas sebesar 117,09 mL pada hari ke-34, kondisi pH maupun substrat selalu sesuai, sehingga R3 mendapatkan kadar metana yang tertinggi 53,21% pada minggu ke-5.

3.8 pH

Berdasar Tabel 9 tampak bahwa rancangan R1 dan R2 memberikan nilai pH 4,5 yang terlalu rendah dan tidak sesuai untuk kondisi optimum pertumbuhan metanogen. Hanya rancangan R3 yang mencapai nilai pH 6,8, yang merupakan pH ideal untuk pertumbuhan metanogen.

Tabel 9. Perubahan pH pada Pembentukan Biogas

Hari ke-	pH		
	Rancangan 1	Rancangan 2	Rancangan 3
1	7	7	7
4	7	7	7
7	7	7	7
9	7	7	7
13	6	6	7
16	6	6	7
19	5	5	7
22	4,5	4,5	7
25	4,5	4,5	6,8
28	4,5	4,5	6,8
31	4,5	4,5	6,8
34	4,5	4,5	6,8

Hal ini menunjukkan bahwa rancangan R1 dan R2 sudah tidak dapat digunakan lagi dalam produksi pembuatan biogas sedangkan R3 masih berada dalam pH optimum produksi biogas. pH optimum pembuatan biogas 6,5–7,5 (Sri Wahyuni, 2011). Rancangan R1 dan R2 menghasilkan pH sangat asam karena perbandingan *vinasse* dan kotoran sapi yang

diumpankan lebih banyak dibanding pada R3. Bakteri metana sangat rentan terhadap perubahan pH dengan pH optimum untuk pertumbuhan bakteri metanogenik adalah netral. Dalam penelitian ini pH yang digunakan sekitar 6-7 sehingga dapat dihasilkan biogas dengan kadar CH₄ 53,21%.

4. Kesimpulan

1. Rasio reaktan yang terbaik untuk skema *fed batch* pada penelitian ini (pengumpangan 3 hari sekali) adalah rancangan R3, yaitu dengan rasio *vinasse*:air = 1:3. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi *vinasse* memerlukan pengenceran cukup besar untuk bisa memberikan kondisi pertumbuhan optimum bagi bakteri metanogen.
2. Dengan rancangan R3 volume biogas terbesar dihasilkan pada hari ke-10 sebesar 158,24 mL dengan kadar metana sebesar 35,36%, kadar CO₂ sebesar 35,27% dan pH 7.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan pendidikan Tinggi, melalui Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta Wil VI Jawa Tengah Kementrian Pendidikan Tinggi yang telah mendanani pengabdian dan penelitian ini melalui IbM tahun 2016.

Daftar Pustaka

- APHA. 2005. Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Assosiation, Washington DC.
- Fry, L. J., 1974. "Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer". http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MD1.html (6 April 2007).
- Puspita, A. 2013. "Pengaruh Perbandingan Vinasse dan Kotoran Sapi Pada Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Industri Alkohol (Vinasse)". Skripsi. Solo: Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi.
- Rusmana dan Iman. 2008. "Sistem Operasi Fermentasi, Departemen Biologi FMIPA, Bogor Jawa Barat.
- Simamora, S., Salundik, Sri.W. dan Surajudin. 2006. "Membuat Biogas". Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimia (Chemical Oxygen Demand) dengan Refluks Tertutup Secara Titrimetri (SNI 6989.73 : 2009).
- Widjaja, T. 2010. "Pengolahan Limbah Industri Teknologi Biokimia Kinetika Raksi". Penelitian. Fakultas Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.