

Potensi Limbah Cair Organik Sebagai Bahan Baku Biogas Menggunakan Sistem Fermentasi Dua Tahap

Mubarokah N Dewi^{(1,a)*}, Rinette Visca^(1,b)

⁽¹⁾Teknik Kimia, Universitas Jayabaya, Jakarta, Indonesia

Email : ^(a*)mubidewi88@gmail.com

Diterima (29 Oktober 2020), Direvisi (28 November 2020)

Abstract. *The high value of COD (Chemical Oxygen Demand) is one indicator of organic substance in food flavoring plants wastewater. To set the COD value, organic substances can be converted into biogas. In this study, biogas was made through a two-stage fermentation system. In the first stage anaerobic digester organic compounds is conditioned in an acidic state (pH = 4) with a variable fermentation time of 2 days, 4 days, 6 days and 8 days. In the second stage, each variable is re-fermented for 18 days. Analysis of COD and biogas levels is conducted to determine the effectiveness of fermentation process. As a result, the amount of biogas volume produced is the same for all variables of 7.5 L. COD value reduced to 3000 mg/L. The highest methane content is produced during the first stage fermentation for 2 days by 83%. Meanwhile, the lowest methane levels were produced during the first stage fermentation for 8 days as much as 70%. But that variable produced the highest hydrogen content of 9.023%. Methane contingency in two-stage fermentation system variation for 2 days and 4 days produces higher value than one-stage fermentation system. In contrast, two-stage fermentation for 6 days and 8 days resulted in lower methane levels than one-stage fermentation.*

Keywords: *anaerobic digester, biogas, COD, methane, two-stage fermentation*

Abstrak. Tingginya nilai COD (Chemical Oxygen Demand) merupakan salah satu indikator beban pencemaran zat organik dalam air limbah pabrik penyedap makanan. Untuk mengatur nilai COD tersebut, zat organik dapat dikonversi menjadi biogas. Pada penelitian ini biogas dibuat melalui sistem fermentasi dua tahap. Pada digester anaerobik tahap pertama bahan organik dikondisikan dalam keadaan asam (pH = 4) dengan variabel waktu fermentasi 2 hari, 4 hari, 6 hari dan 8 hari. Pada tahap kedua, masing-masing variabel kembali difermentasikan selama 18 hari. Analisa terhadap COD dan kadar biogas dilakukan untuk mengetahui efektivitas proses fermentasi. Hasilnya, jumlah volume biogas yang dihasilkan sama untuk semua variabel 7,5 L. Nilai COD berkurang hingga 3000 mg/L. Kadar metana tertinggi dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama selama 2 hari sebanyak 83%. Sementara itu kadar metana terendah dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama selama 8 hari sebanyak 70%. Tetapi variabel tersebut menghasilkan kadar hidrogen tertinggi 9,023 %. Konsentrasi metana pada variasi sistem fermentasi dua tahap selama 2 hari dan 4 hari menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan sistem fermentasi satu tahap. Sebaliknya, fermentasi dua tahap selama 6 hari dan 8 hari menghasilkan kadar metana lebih rendah dibandingkan fermentasi satu tahap.

Kata kunci: biogas, digester anaerobik, COD, fermentasi dua tahap, metana

PENDAHULUAN

Limbah cair industri seringkali dihasilkan dari proses pemisahan antara produk utama dan hasil sampingnya. Sebagian besar kandungan limbah cair industri terdiri atas padatan tersuspensi, bahan organik, dan nitrogen [1]. Tingginya kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dalam air limbah merupakan salah satu indikator beban pencemaran zat

organik dalam air limbah. Bahan organik dalam limbah cair industri terdiri atas karbohidrat, protein, dan lemak. Bahan organik yang tidak dikelola secara baik dapat menjadi masalah pencemaran lingkungan. Sementara pengelolaan limbah secara tepat secara biologi melalui proses anaerobik dapat menghasilkan biogas [2].

Secara umum, produksi biogas dihasilkan melalui 4 tahap, yaitu: hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Tahap hidrolisis terjadi perombakan bahan organik yang tidak larut dan senyawa massa molekul yang lebih tinggi seperti lipid, polisakarida, protein, lemak, dan asam nukleat menjadi bahan organik yang larut dengan bantuan bakteri anaerob seperti *Bactericides* dan *Clostridia* dan bakteri fakultatif seperti *Streptococci*. Selanjutnya, tahap asidogenesis terjadi saat mikroorganisme merombak bahan organik yang larut dan memecah produk menjadi asam asetat, hidrogen, karbondioksida, dan asam organik seperti asam propionat dan asam butirat. Asam organik tersebut kemudian dikonversi menjadi asam asetat dalam tahap asetogenesis. Terakhir, asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida dikonversi menjadi campuran metana dan karbondioksida dalam tahap metanogenesis[1]. Keempat tahapan tersebut dapat terjadi dalam satu digester anaerobik yang disebut sistem satu tahap atau dapat juga dilakukan di dalam dua digester anaerobik yang disebut sistem dua tahap.

Berdasarkan penelitian [3] diketahui bahwa menggunakan sistem fermentasi anaerobik dua tahap dapat meningkatkan 37% yield metana dibandingkan sistem fermentasi satu tahap. Selain itu, sistem dua tahap dapat dioperasikan dengan waktu fermentasi yang lebih pendek dibandingkan sistem satu tahap.

Sistem satu tahap dan dua tahap dapat dibedakan berdasarkan kondisi operasi meliputi pengaturan suhu (mesofilik dan termofilik) serta pengaturan pH. Sistem dua tahap menggabungkan hidrolisis dan asidogenesis ke dalam satu digester anaerobik yang menghasilkan VFA (*Volatile Fatty Acids*). Sementara, asetogenesis dan metanogenesis digabung ke dalam digester lain yang menghasilkan produk biogas. Dari [4] diketahui bahwa tahapan hidrolisis dan asidogenesis dapat dilakukan pada pH 4-5. Digester anaerobik yang menghasilkan metana beroperasi optimal pada pH 6,6–7,8. Nilai pH lebih rendah dari 6,2 akan menghambat aktivitas bakteri metanogenik [5].

Penelitian [6] menggunakan sistem fermentasi dua tahap dalam mengolah limbah padat kota menjadi biogas dengan cara mengatur suhu tahap pertama pada kondisi termofilik (55 °C) dan produksi metana pada suhu mesofilik (35 °C). pH dikontrol secara otomatis menjadi 5,5 pada digester anaerobik pertama. Sementara pH > 7,2 diatur pada digester anaerobik kedua. Hasilnya, produk hidrogen akan dihasilkan pada digester anaerobik pertama sedangkan produk metana dihasilkan pada digester anaerobik kedua.

Penelitian ini akan dilakukan pada suhu ruang. Sementara pengaturan pH akan menjadi pembatas antara fermentasi tahap pertama dan kedua. Nilai pH4 akan diaplikasikan pada tahap pertama dan pH netral akan diaplikasikan pada tahap kedua.

Dari [7] mengulas beberapa penelitian tentang pengaruh waktu tinggal pada tahap produksi VFA. Namun, tidak ada kesimpulan yang jelas mengenai perubahan distribusi VFA dari anaerobik. Hal ini terjadi karena perbedaan kondisi operasi serta jenis bahan baku yang berbeda. Sehingga untuk lebih memahami mekanisme proses asidogenesis, maka harus dilakukan penelitian terhadap komunitas mikroba dalam bahan baku lainnya untuk waktu fermentasi yang berbeda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi limbah cair organik dari pabrik penyedap makanan sebagai bahan baku biogas menggunakan sistem fermentasi dua tahap dengan variasi waktu fermentasi pada digester anaerobik pertama.

METODE PENELITIAN

Bahan baku biogas yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah pabrik penyedap makanan yang memiliki karakteristik sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Air Limbah

Komponen	Komposisi
Karbohidrat	45 %
Protein	35 %
Lemak	15 %
Air	5 %

Tahap awal dalam penelitian ini adalah menganalisis kondisi awal bahan baku untuk mengetahui nilai TSS (*Total Suspended Solid*), COD, VFA, dan pH.

Tabel 2. Kondisi Awal Air Limbah

Parameter	Nilai
COD mg/L	3572
TSS mg/L	729
VFA mg/L	65
pH	6.80

Total bahan baku yang digunakan adalah 50 liter. Bahan baku tersebut kemudian diaktivasi menggunakan EM4 (*Effective Microorganism*) yang bertujuan untuk meningkatkan dekomposisi bahan organik [8]. Bahan baku tersebut kemudian dibagi ke dalam lima digester anaerobik.

Sistem Fermentasi Satu Tahap

Sebuah digester anaerobik yang telah ditambahkan EM4 akan digunakan sebagai blanko. Kemudian dalam blanko tersebut, proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis akan terjadi dalam satu digester anaerobik. Proses ini berada dalam kondisi pH netral. Sedangkan durasi fermentasi berlangsung selama 18 hari dalam suhu ruang 28°C.

Sistem Fermentasi Dua Tahap

1. Fermentasi Tahap Pertama

Hidrolisis dan asidogenesis akan terjadi secara simultan pada digester anaerobik pertama. Nilai pH 4 digunakan dalam fermentasi tahap pertama dengan variasi waktu 2 hari (A), 4 hari (B), 6 hari (C) dan 8 hari (D).

2. Fermentasi Tahap Kedua

Setelah proses fermentasi tahap pertama berakhir, kondisi pH dikembalikan menjadi netral pH 7 untuk melanjutkan fermentasi tahap kedua. Pada tahap kedua terjadi proses asetogenesis dan metanogenesis yang berlangsung selama 18 hari.

Tahap Pengujian

1. Pengujian Nilai COD

Penurunan nilai COD serta produksi biogas adalah indikator kinerja utama dari proses degradasi limbah cair organik. Pengurangan COD dilaporkan sebesar 40–60% untuk lumpur primer dan 20–50% untuk lumpur sekunder. Volume biogas yang dihasilkan selama pencernaan terkait langsung dengan penurunan nilai COD.[9]

Pengujian COD dilakukan mengacu kepada standar SNI 6989.15:2019

2. Pengujian Kadar Biogas

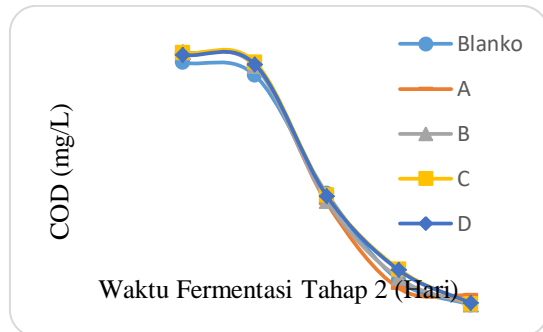
Menurut [10] komposisi biogas tergantung kepada jenis bahan baku serta proses produksi yang digunakan. Sebagian besar biogas mengandung 40–60% CH₄, 25–40% CO₂, hingga 17% nitrogen, sekitar 2% oksigen, dan beberapa ratus ppm H₂S. Sementara biogas dari proses fermentasi anaerobik limbah organik biasanya mengandung kadar metana yang lebih tinggi (60–65%), CO₂ (40%), H₂S, oksigen, dan nitrogen yang lebih rendah (1–8%). Berdasarkan [11] biogas juga mengandung produk samping seperti amonia, hidrogen, karbon monoksida, uap air, karbohidrat jenuh atau halogen, debu partikel, dan siloxane.

Analisis kadar biogas dalam penelitian ini dilakukan menggunakan alat Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GCMS). Dengan keterbatasan alat yang dimiliki sehingga komponen biogas yang dapat dianalisis meliputi, metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂) dan hidrogen (H₂).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metabolisme mikroorganisme dari setiap tahapan proses produksi biogas mempengaruhi besarnya bahan organik yang terurai. Besarnya bahan organik yang terurai dapat dilihat dari reduksi COD. Semakin besar reduksi COD, berarti bahan organik yang terdegradasi menjadi asam organik juga semakin besar [12]. Asam organik inilah yang

kemudian terkonversi menjadi gas metana. Jika reduksi COD semakin besar maka laju pembentukan gas metana juga semakin besar [8]. Hasilnya, nilai COD bisa berkurang hingga 3000 mg/L.



Gambar 1. Profil COD selama Proses Fermentasi Tahap kedua

Nilai pH setelah tahap pertama dilakukan mengalami penurunan seperti yang disajikan pada tabel 3. Penurunan pH selama proses fermentasi tahap pertama ini terjadi karena akumulasi VFA meresap ke dalam membran sel mikroorganisme. Setelah meresap ke dalam membran, asam lemak secara internal terpisah sehingga berdampak padapenurunan pH [5].

Tabel 3. Nilai pH Setelah Fermentasi Tahap Pertama dengan pH awal 4

Variabel	pH
A	3.45
B	3.40
C	3.35
D	3.32

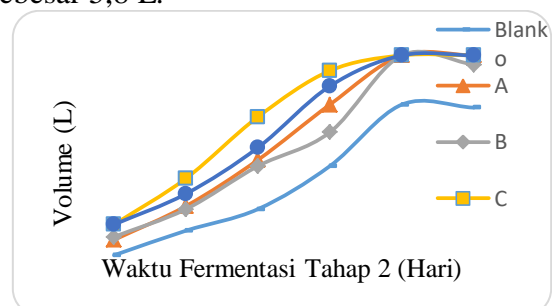
Komposisi biogas disajikan pada tabel.4. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa komposisi metana terbanyak dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama selama 2 hari (variabel A). Penurunan pH yang terlalu asam dan waktu fermentasi tahap pertama yang terlalu lama dapat membunuh bakteri metanogenesis [13]. Hal inilah yang menyebabkan komposisi metana pada variabel B, C dan D lebih rendah

dibandingkan variabel A. Namun, komposisi metana pada variabel A (83%) dan B (81,431%) lebih baik dibandingkan blanko (78,9%). Hal ini sesuai dengan teori [3] bahwa sistem fermentasi dua tahap memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan sistem fermentasi satu tahap. Komposisi metana terendah dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama 8 hari, yaitu 70% dan komposisi nitrogen serta hidrogen yang dihasilkan mencapai nilai tertinggi, yaitu 18,61 % dan 9,023 %.

Tabel 4. Komposisi Biogas dalam Produk

Komponen	Kadar (%)				
	Blanko	A	B	C	D
CH ₄	78,9	83,009	81,431	74,516	70,035
CO ₂	5,534	7,273	4,35	2,353	2,332
N ₂	10,957	6,319	8,738	14,839	18,61
H ₂	4,607	3,399	5,483	8,291	9,023

Pengaruh waktu fermentasi pada tahap pertama terhadap volume biogas dapat diketahui pada gambar 2. Dimana semakin lama waktu fermentasi tahap pertama maka jumlah volume biogas yang terbentuk pada tahap kedua semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu fermentasi tahap pertama maka semakin banyak bahan organik yang terurai menghasilkan VFAserta NH₃, CO₂, H₂S dan senyawa lainnya[5]. Namun hasil akhir menunjukkan bahwa volume biogas dari semua variasi adalah sama (7,5 L). Di sisi lain, blanko menghasilkan volume biogas sebesar 5,8 L.



Gambar 2. Volume biogas selama Proses Fermentasi Tahap kedua

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dihasilkan jumlah volume biogas yang dihasilkan sama untuk semua variabel 7,5 L. Nilai COD berkurang hingga 3000 mg/L. Kadar metana tertinggi dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama selama 2 hari sebanyak 83%. Sementara itu kadar metana terendah dihasilkan pada waktu fermentasi tahap pertama selama 8 hari sebanyak 70%. Tetapi variabel tersebut menghasilkan kadar hidrogen tertinggi 9,023%. Konsentrasi metana pada variasi sistem fermentasi dua tahap selama 2 hari dan 4 hari menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan sistem fermentasi satu tahap. Sebaliknya, fermentasi dua tahap selama 6 hari dan 8 hari menghasilkan kadar metana lebih rendah dibandingkan fermentasi satu tahap.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan penulis kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia atas dana penelitian yang diberikan. Tidak lupa penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknologi Industri-Universitas Jayabaya atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Barik, *Energy extraction from toxic waste originating from food processing industries*. Elsevier Ltd., 2018.
- [2] A. S. Rahayu *et al.*, "Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia," *Winrock Int.*, p. 100, 2015, [Online]. Available: <https://www.winrock.org/wp-content/uploads/2016/05/CIRCLE-Handbook-INDO-compressed.pdf>.
- [3] J. Massanet-Nicolau, R. Dinsdale, A. Guwy, and G. Shipley, "Use of real time gas production data for more accurate comparison of continuous single-stage and two-stage fermentation," *Bioresour. Technol.*, vol. 129, pp. 561–567, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.11.102.
- [4] S. M. Rambe, "Evaluasi Reaktor Hidrolisis-Acidogenesis Sebagai Bioreaktor Intermediate Proses Pada Pra Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair PKS Pada Skala Pilot Plant," *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 27, no. 2, pp. 94–102, 2016.
- [5] R. Borja, "Biogas Production," no. April 2016, pp. 1–24, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.09105-6.
- [6] B. Xiao *et al.*, "Biogas production by two-stage thermophilic anaerobic co-digestion of food waste and paper waste: Effect of paper waste ratio," *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 1301–1309, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.030.
- [7] W. Fang *et al.*, "Overview of key operation factors and strategies for improving fermentative volatile fatty acid production and product regulation from sewage sludge," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 87, pp. 93–111, 2020, doi: 10.1016/j.jes.2019.05.027.
- [8] T. Widjaja, H. Anwar, D. H. Prajitno, and L. Pujiastuti, "Effect of EM (Effective Microorganism) Addition on the Quality of Methane Production from Rice Straw," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 9, no. 12, pp. 520–528, 2016.
- [9] U. Tezel, M. Tandukar, and S. G. Pavlostathis, "Anaerobic Biotreatment of Municipal Sewage Sludge," no. 1, pp. 447–461, 2011.
- [10] N. Eisberg, "Waste to energy," *Chem. Ind.*, vol. 78, no. 4, pp. 20–23, 2014, doi: 10.1002/cind.784_4.x.
- [11] N. N. Zulkefli, M. S. Masdar, J. Jahim, and E. H. Majlan, "Overview of H₂S Removal Technologies from Biogas Production," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 11, no. 20, pp. 12–14, 2016.
- [12] S. S. Patil, N. V. Ghasghse, A. P. Nashte, S. S. Kanase, and R. H. Powar, "Anaerobic Digestion Treatment of Cheese Whey for Production of Methane in a Two Stage Upflow Packed

- Bed Reactor,” *Int. J. Adv. Sci.*, vol. 1, no. 33, 2019.
1, pp. 2319–5924, 2012, [Online].
Available: <http://www.bipublication.com>.
- [13] N. Kamal, “Kajian Pengaruh Media Penambat pada Reator Biogas Fluidized Bed,” *J. Teknol.*, vol. 1, no. 33, pp. 12–