

Kinerja Digester Biogas Tahap Tunggal yang Mengolah Limbah Makanan pada Suhu Tropis

Nadya Yunisa Fahmi^{*1}, Cindy Rianti Priadi², Heri Hermansyah³, Arif Rakhman Suharso⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Meulaboh

²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

³Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

⁴Jurusan Teknik, Politeknik Maritim Negeri

e-mail: ^{*1}nadyayunisa@utu.ac.id

Abstrak

Proses degradasi limbah makanan dengan teknologi anaerobic digestion dapat dilakukan dengan menggunakan digester (bioreactor) tahap tunggal. Penelitian ini menguji pengaruh konfigurasi digester tahap tunggal terhadap produksi biogas dengan menggunakan inokulum feses sapi pada suhu lingkungan tropis yaitu $27,3 \pm 1$ °C. Digester tahap tunggal yang digunakan memiliki volume kerja 369 L. Feeding limbah makanan ke dalam bioreaktor dilakukan selama 5 kali dalam seminggu dengan OLR maksimal 0,8 Kg/hari. Rata-rata produksi biogas yang dihasilkan adalah 90,6 L/hari. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penerapan konfigurasi digester tahap tunggal dalam mendegradasi limbah makanan dapat menghasilkan pemulihan karbon (carbon recovery) sebesar 71,41% pada analisis neraca massa karbon. Hasil ini menunjukkan konfigurasi digester tahap tunggal berkinerja baik. Konfigurasi digester tahap tunggal secara bertahap menghasilkan peningkatan produksi biogas.

Kata kunci—biogas, limbah makanan, feses sapi, digester biogas tahap tunggal, suhu tropis

Abstract

The degradation process of food waste with anaerobic digestion technology can be performed in a single-stage bioreactor. This study examined the effect of a single-stage digester configuration on biogas production using cow manure inoculum at a tropical ambient temperature of 27.3 ± 1 °C. The single-stage digester had a working volume of 369 L. Feeding food waste into the bioreactor was carried out 5 times a week with a maximum OLR of 0.8 Kg/day. The average biogas production was 90.6 L/day. Also, the results showed that applying a single-stage digester configuration in degrading food waste could produce a carbon recovery of 71.41% in the carbon mass balance analysis. These results indicate that the single-stage digester configuration performed well. The single-stage digester configuration gradually increased biogas production.

Keywords—biogas, food waste, cow manure, single-phase digester biogas, tropical temperature

1. PENDAHULUAN

Limbah makanan yang merupakan komponen utama dari limbah padat kota terbuang sekitar 1,3 miliar ton secara global di sepanjang rantai pasok makanan, dari produksi hingga konsumsi. Limbah makanan ini berasal dari restoran, dapur, kafetaria dan pabrik pengolahan makanan. Limbah makanan tahunan terus meningkat tajam seiring dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan standar hidup [1][2]. Mempertimbangkan dampak limbah makanan

bagi masyarakat dan lingkungan, pendekatan pengelolaan limbah makanan perlu diterapkan. Limbah makanan, dengan kandungan organik yang tinggi dan tingkat biodegradabilitas yang sangat baik telah dipercaya sebagai substrat yang sesuai dan dapat diolah dengan teknologi *anaerobic digestion* (AD) karena menunjukkan potensi yang tinggi untuk menghasilkan gas kaya energi seperti metana [3].

Ada tiga kisaran suhu untuk kinerja bakteri anaerob: (1) psikrofilik pada 10 – 20°C; (2) mesofilik antara 20 – 45°C; dan (3) termofilik pada suhu 45 – 60°C [4]. Suhu mesofilik adalah suhu yang paling banyak digunakan untuk AD, karena dapat dilakukan tanpa tambahan energi eksternal untuk negara tropis dan sebagian besar mikroorganisme metanogenik termasuk dalam mesofilik [5]. [6] juga melaporkan bahwa produksi biogas mencapai maksimum pada suhu mesofilik karena proses metanogenik mesofilik memiliki stabilitas proses yang lebih baik.

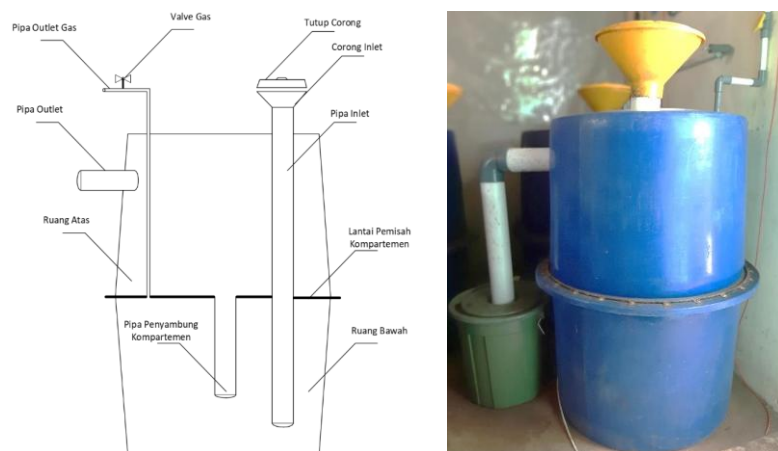
Teknologi AD dapat dioperasikan berdasarkan tahapan degradasinya yang terdiri dari tahap tunggal atau dua tahap. Proses satu tahap hanya menggunakan satu digester untuk proses hidrolisis hingga metanogenesis. Sedangkan proses dua tahap menggunakan digester terpisah, yang pertama untuk hidrolisis serta asetogenesis dan yang kedua untuk metanogenesis dengan tujuan meningkatkan proses degradasi. [7]. Namun [4] menyatakan bahwa sistem satu tahap lebih sederhana dan umumnya lebih murah daripada sistem dua-tahap. Oleh karena itu, sistem satu tahap umumnya lebih tepat digunakan untuk unit pengelolaan sampah kecil yang terdesentralisasi. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja digester satu tahap dalam mengurai limbah makanan serta mengevaluasi neraca massa karbon.

2. METODE PENELITIAN

Substrat yang digunakan yaitu limbah makanan. Limbah makanan yang digunakan dipilih terlebih dahulu dari tulang, kulit buah, dan biji-bijian karena dapat menghambat proses operasional. Pada penelitian ini menggunakan inokulum feses sapi. Pembuatan inokulum feses sapi terdiri dari pencampuran feses sapi dan air dengan perbandingan 1:3. Rasio pengenceran tersebut menghasilkan produksi biogas paling cepat [8].

Penelitian ini dioperasikan pada kondisi mesofilik ($27,3 \pm 1$ °C). Tahapan penelitian ini meliputi proses *seeding*, aklimatisasi, dan operasional. Proses *seeding* dimulai dengan penambahan inokulum ke dalam reaktor. Selama proses *seeding* berlangsung, tidak dilakukan *feeding* limbah makanan karena bakteri dalam inokulum membutuhkan waktu untuk penyesuaian dengan lingkungannya. *Feeding* limbah makanan mulai ditambahkan ke dalam reaktor saat aklimatisasi dan dilakukan selama 5 kali dalam seminggu. Mula-mula *feeding* dilakukan sebesar 10% dari total OLR (0,2 Kg/hari) hingga hari ke-34, dilanjutkan *feeding* sebesar 20% (0,6 Kg/hari) sampai hari ke-48. Setelah reaktor menunjukkan adaptasi yang baik, *feeding* dinaikkan menjadi 30% yaitu 0,8 Kg/hari.

Penelitian skala pilot ini menggunakan reaktor tahap tunggal tanpa pengaduk yang terbuat dari bahan *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Volume total dan efektif reaktor masing-masing adalah 462 L dan 369 L. Reaktor dilengkapi dengan corong inlet untuk input substrat pada bagian atas reaktor. Corong inlet diberi penutup untuk menjaga kondisi anaerob. Terdapat saluran efluen pada bagian samping atas reaktor yang berfungsi untuk mengambil sampel cair berupa lindi yang nantinya digunakan untuk pengujian karakteristik efluen.



Gambar 1 Desain Reaktor Satu Tahap

2.1 Metode analitis

Nilai pH dicatat dengan probe (HI-98107) dilakukan sesuai dengan SNI 6989.11:2019. Volume biogas diukur menggunakan pompa vakum dan flowmeter (Gambar 2). Flowmeter menunjukkan laju kecepatan pengeluaran gas dalam L/menit. Total padatan (TS) dilakukan dengan metode standar (APHA, 2017). Karbon diukur dengan menggunakan spektrofotometer DR-2000.



Gambar 2 Pengukuran Volume Biogas

2.2 Neraca Massa Karbon

Perhitungan neraca massa karbon dilakukan berdasarkan pengukuran kandungan karbon dari massa total padatan (TS) input, dan efluen lindi, serta kandungan karbon pada biogas yang dihasilkan. Sisa karbon yang tidak terkonversi pada biogas dan efluen diestimasi terakumulasi. Perhitungan neraca massa karbon dijabarkan sebagai berikut.

a. Input

Substrat:

$$\text{Massa TS input (gr)} = \text{Massa total input} \times \text{TS}_{\text{input}} \quad (1)$$

$$\text{Massa C input (gr)} = \text{Massa TS input} \times C_{\text{input}} \quad (2)$$

b. Efluen Lindi

$$\text{Massa TS efluen (gr)} = \text{Massa total efluen} \times \text{TS}_{\text{efluen}} \quad (3)$$

$$\text{Massa C efluen (gr)} = \text{Massa total TS efluen} \times C_{\text{efluen}} \quad (4)$$

c. Produksi Biogas

$$\text{Massa C menjadi CH}_4 \text{ (g)} = \text{Massa C input} \times \% \text{ input menjadi CH}_4 \quad (5)$$

$$\text{Massa C menjadi CO}_2 \text{ (g)} = \text{Massa C input} \times \% \text{ input menjadi CO}_2 \quad (6)$$

d. Akumulasi Lumpur

$$\text{Massa C lumpur (g)} = \text{Massa C}_{\text{input}} - \text{Massa C}_{\text{efluen}} - \text{Massa C}_{\text{biogas}} \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

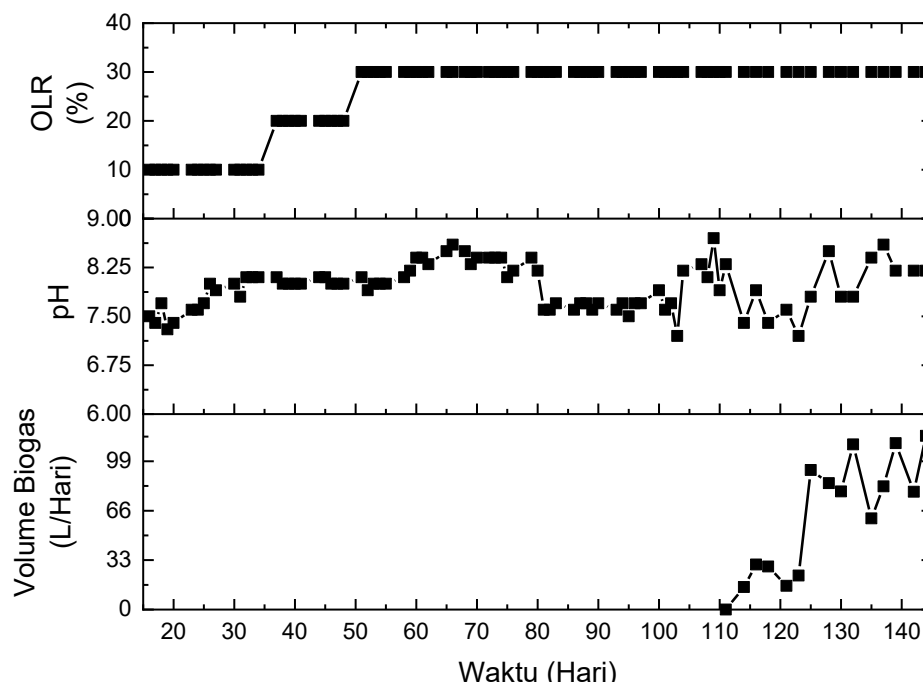
3.1 Produksi Biogas

Karakteristik limbah makanan sebagai substrat penting diketahui agar mencegah terjadinya gangguan operasional AD. Tabel 1 menunjukkan karakteristik substrat yang digunakan. Nilai pH limbah makanan yang terlihat pada Tabel 1 merupakan nilai pH dalam kategori asam yaitu 4,6 sehingga dibutuhkan proses penetralan substrat menggunakan *buffer* NaOH sebelum diumpankan ke reaktor. Hal ini bertujuan untuk menjaga kondisi optimum operasional reaktor AD. Kandungan TS pada substrat diperlukan untuk mengetahui efisiensi degradasi bahan padatan pada proses AD. Sementara itu, persen karbon substrat diperlukan untuk mengetahui neraca massa karbon pada proses AD.

Tabel 1 Karakteristik Substrat

Parameter	Substrat
pH	4,6
TS (%)	25,19
C (% TS)	58

Peningkatan OLR mengindikasikan adanya peningkatan nilai pH (Gambar 3). Reaktor diberi umpan mulai hari ke-11. OLR sebesar 10% dilakukan hingga hari ke-34, nilai pH rata-rata ialah 7,9. OLR meningkat sebesar 20% mulai hari ke-35 hingga hari ke-48. Terlihat adanya peningkatan nilai pH rata-rata menjadi sebesar 8,0 dan cenderung stabil. Meningkatnya nilai pH mengindikasikan adanya kemampuan mikroba untuk beradaptasi. OLR sebesar 30% dimulai sejak hari ke-49 hingga akhir operasi. Nilai pH berada pada kisaran 7,2 – 8,3 hingga akhir tahap aklimatisasi. Kisaran tersebut tergolong ke dalam kondisi optimum proses metanogenesis sebagaimana disebutkan oleh [9], yaitu sekitar 6,5 – 8,5. Nilai pH yang lebih rendah pada awal proses kemungkinan terkait dengan produksi asam organik pada tahap awal degradasi [10]. Selama tahap operasional, pH efluen menunjukkan kisaran 6,5 – 8,6 dengan pH rata-rata 7,8.



Gambar 3 Grafik Parameter Operasional selama Proses AD Satu Tahap

Volume biogas hanya diukur pada tahap operasional. Produksi biogas pada Reaktor FS mengalami peningkatan dari operasional awal 15,06 L/hari menjadi 116,02 L/hari pada tahap operasional akhir, dengan rata-rata 90,6 L/hari. Hal ini dapat dikaitkan dengan adaptasi bakteri dan bakteri metanogen mencapai kondisi optimum pada fase metanogenesis [11]. Berdasarkan hasil analisis komposisi biogas, diketahui bahwa rata-rata biogas tersusun atas 59% metana dan 41% karbon dioksida.

3.2 Analisis Neraca Massa Karbon

Input karbon adalah total karbon yang terkandung dalam substrat. Keluaran karbon terdiri dari karbon yang diubah menjadi metana dan karbon dioksida sebagai biogas, karbon sisa pada lindi, dan karbon yang tidak terdegradasi sebagai estimasi akumulasi lumpur. Total karbon yang diumpankan ke dalam reaktor dihitung dari fraksi karbon limbah makanan per hari, sama halnya dengan karbon pada lindi. Sedangkan karbon pada lumpur yang terakumulasi dihitung sebagai estimasi dengan pengurangan total output karbon dari karbon input. Sehingga nilai kesetimbangan massa karbon berdasarkan perhitungan sebesar 100% yang mana terdapat nilai ketidakpastian. Hal ini disebabkan oleh massa karbon yang terakumulasi di lumpur merupakan bentuk nilai estimasi karena tidak mengukur konsentrasi karbon secara langsung pada sampel lumpur yang terakumulasi.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan total karbon input pada reaktor terkonversi menjadi biogas dengan persentase sebesar 70,96% yang terdiri dari metana 24,80% dan karbon dioksida 46,16%. Hal ini mengindikasikan performa reaktor yang berdampak pada peningkatan jumlah pengurangan emisi gas rumah kaca berdasarkan degradasi karbon yang mewakili jumlah penurunan emisi gas rumah kaca dari suatu sumber emisi [12].

Tabel 2 Neraca Massa Karbon Reaktor

Komponen	gram C/hari	Persentase (%)
<i>Input</i>		
Limbah makanan	84	
<i>Output</i>		
CH ₄	21	24,80
CO ₂	39	46,16
Lindi	0,4	0,45
Akumulasi Lumpur	24	28,58
<i>Carbon recovery</i>	60,4	71,41

4. KESIMPULAN

Telah dibuktikan bahwa penerapan digester satu tahap dalam mengolah limbah makanan yang bekerja pada suhu lingkungan tropis menghasilkan rata-rata peningkatan produksi biogas harian 2 kali lipat. pH rata-rata efluen reaktor ialah 7,8 yang mana menunjukkan walaupun proses degradasi limbah makanan bercampur dari tahap hidrolisis hingga metanogenesis tidak mengalami hambatan berarti karena pH selama degradasi tergolong ke dalam kondisi optimum proses metanogenesis. Performa digester ini juga dapat menghasilkan pemulihan karbon sebesar 71,41%. Metode ini mengurangi sampah yang hanya terbuang dan mewakili jumlah penurunan emisi gas rumah kaca dari suatu sumber emisi. Namun demikian, konfigurasi digester satu tahap ini masih menghasilkan produksi biogas yang fluktuatif. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat meningkatkan konfigurasi digester satu tahap pada suhu lingkungan tropis untuk peningkatan produksi biogas dan dilakukan perlakuan khusus untuk meningkatkan *carbon recovery*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian yang diberikan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, dengan nomor proyek Nomor NKB-277/UN2.RST/HKP.05.00/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Li, D., Tang, R., Yu, L., Chen, L., Chen, S., Xu, S., & Gao, F., 2020, Effects of increasing organic loading rates on reactor performance and the methanogenic community in a new pilot upflow solid reactor for continuously processing food waste, *Journal of Renewable Energy*, No.153, hal 420–429.
- [2] Zheng, G., Liu, J., Shao, Z., & Chen, T., 2020, Emission characteristics and health risk assessment of VOCs from a food waste anaerobic digestion plant: A case study of Suzhou, China. *Journal of Environmental Pollution*, 257, 113546.
- [3] Wang, P., Wang, H., Qiu, Y., Ren, L., & Jiang, B., 2018, Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production—A review. *Journal of Bioresource Technology*, No.248, hal 29–36.
- [4] Vögeli, Y., Riu, C., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrugg, C., 2014, *Anaerobic Digestion of*

-
- Biowaste in Developing Countries*. Switzerland: Sandec Department of Water and Sanitation in Developing Countries.
- [5] Dev, S., Saha, S., Kurade, M. B., Salama, E. S., El-Dalatony, M. M., Ha, G. S., Chang, S. W., & Jeon, B. H., 2019, Perspective on anaerobic digestion for biomethanation in cold environments. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No.103, hal 85–95.
- [6] Chandra, R., Takeuchi, H., & Hasegawa, T., 2012, Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No.16, vol 3, hal 1462–1476.
- [7] Srisowmeya, G., Chakravarthy, M., & Nandhini Devi, G., 2020, Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste – A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No.119, 109587.
- [8] Sasongko, W., 2010, Produksi Biogas dari Biomassa Kotoran Sapi dalam Biodigester Fix Dome dengan Pengenceran dan Penambahan Agitasi, *Tesis*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- [9] Kumar, A., & Samadder, S. R., 2020, Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Journal of Energy*, No.197, 117253.
- [10] Rocamora, I., Wagland, S. T., Villa, R., Simpson, E. W., Fernández, O., & Bajón-Fernández, Y., 2020, Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. *Journal of Bioresource Technology*, 299.
- [11] Fahmi, N.Y., Priadi, C. R., Hermansyah, H., 2021, Effect of Bioaugmentation by Using Cow Manure Microbial Consortium on Microbial Communities for Treating Food Waste with Anaerobic Digestion. *Proceedings of the 7th International Conference on Modern Approaches in Science, Technology & Engineering*, hal 51 - 61
- [12] Wong, B. T., Show, K. Y., Lee, D. J., & Lai, J. Y., 2009, Carbon balance of anaerobic granulation process: Carbon credit. *Journal of Bioresource Technology*, No.100, vol 5, hal 1734–1739.
-