

PERBANDINGAN SISTEM DIGESTER ANAEROB TERMOFILIK SATU DAN DUA FASE

Muhammad Abdul Kholiq

Peneliti di Balai Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Anaerobic digestion of organic waste has some advantages, namely the recovery of biogas as alternative energy source and the conversion of waste products to soil fertilizer. Compared to mesophilic digestion, thermophilic digestion offers advantages regarding the process performance and the hygienic aspect. Unfortunately, the process has generally not enjoyed a good reputation because of its poor record with respect to process stability. Two-stage anaerobic reactor system consisting of a hydrolysis reactor and a methane reactor is often used to overcome such instability problems. In this study, the two-stage anaerobic reactor system is compared to the one-stage anaerobic reactor system. This study shows that the two-stage anaerobic reactor system has more process stability, can be operated at much more higher organic loading rate, and need much shorter recovery time after a process failure.

Key words : digester, anaerob, termophilic, one and two-stage

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

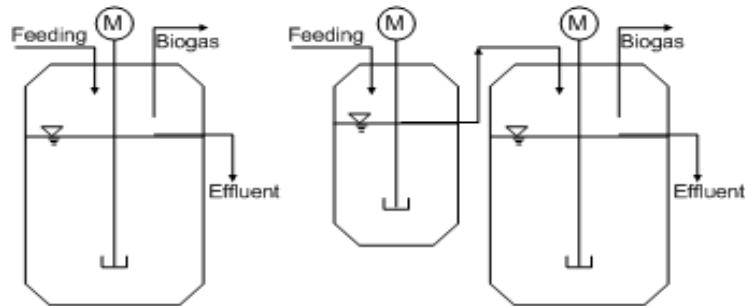
Beberapa keuntungan yang bisa dipetik melalui pengolahan limbah organik secara anaerob adalah perolehan gas metana sebagai sumber energi alternatif dan produk lainnya berupa penyubur tanah. Proses ini, sebagaimana terjadi di alam, menguraikan bahan-bahan organik yang bisa mencemari lingkungan.

Berdasarkan temperatur proses, proses anaerob dikelompokkan menjadi proses mesofilik (sekitar 25 - 40°C) dan proses termofilik (sekitar 50 - 60°C). Pada proses anaerob termofilik, biasanya *performance* proses lebih baik (kecepatan fermentasi, konversi bahan organik menjadi biogas) dan lebih higienis terkait pemusnahan bakteri patogen.^(1,2,3)

Selama proses fermentasi anaerob, senyawa-senyawa organik diurai menjadi gas metana dan karbon dioksida. Proses ini melewati beberapa tahap yang melibatkan berbagai jenis mikroba yang saling berinteraksi dan bekerja sama pada proses tersebut. Pada umumnya mikroba yang satu akan tergantung dengan mikroba yang lain.

Beberapa mikroba terkait adalah mikroba yang tumbuh sangat lambat, sehingga sensitif terhadap perubahan-perubahan pada kondisi operasional. Perubahan-perubahan inilah yang bisa menyebabkan ketidakstabilan dan bahkan menyebabkan kegagalan proses selama waktu yang cukup lama.

Kegagalan atau ketidaksetimbangan proses anaerob bisa disebabkan oleh



Gambar-1: Skema digester satu dan dua fase.

overload hidraulis (waktu tinggal terlalu pendek), oleh *overload organik* (laju beban organik terlalu tinggi) yang menyebabkan *souring* pada keseluruhan proses, dan oleh akkumulasi dari senyawa-senyawa yang bersifat toksis atau *inhibitor*. Selain itu, perubahan temperatur secara tiba-tiba akan membawa akibat (*negatif*) pada bakteri metanogen^(4,5).

Untuk mengurangi peluang kegagalan atau ketidaksetimbangan proses anaerob khususnya terkait dengan *souring*, maka diterapkan proses anaerob dua fase yang terdiri dari reaktor hidrolisa dan reaktor metanogen.

Dengan proses anaerob dua fase ini diharapkan *performance* proses bisa berjalan lebih baik, di mana proses lebih stabil. Proses anaerob dua fase ini diharapkan bisa dioperasikan pada laju beban organik (atau *loading*) yang lebih tinggi dan waktu tinggal hidraulis yang lebih pendek.

Sedangkan, pada proses anaerob satu fase semua tahap proses penguraian dan semua jenis mikroba yang terlibat dalam proses tersebut berada dalam satu digester, sehingga tidak memerlukan satu reaktor tambahan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari studi ini adalah untuk membandingkan proses anaerob termofilik satu dan dua fase terkait dengan stabilitas

proses, laju beban organik maksimal (OLR_{max}), dan waktu pemulihan kembali dari kondisi gangguan atau kegagalan proses.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Model Limbah Organik

Model limbah organik sisa makanan yang dipakai berasal dari campuran bahan daging dan ikan beserta produk sampingannya, biji-bijian, sayur-sayuran, mineral tambahan, dan gula. Komposisi kimiawi model limbah tertera pada Tabel-1.

Model limbah kemudian dihancurkan dengan *blender* (22 ribu rpm) selama 1 menit dan dicampur dengan air dengan rasio 1:1. Model limbah ini memiliki angka TS sekitar 10%.

2.2 Metode Penelitian

Eksperimen dilakukan pada sistem digester satu fase dan dua fase. Digester dua fase terdiri dari sebuah reaktor hidrolisa (3 liter) dan reaktor metanogen (6 liter). Pada digester satu fase digunakan satu reaktor dengan volume 6 liter. Reaktor hidrolisa dioperasikan pada temperatur $65 + 0.5^{\circ}\text{C}$, sedangkan kedua reaktor metanogen pada $55 + 0.5^{\circ}\text{C}$.

Feeding dan pengambilan *effluent* dilakukan sekali dalam sehari (misal 100 ml). Sejumlah air ditambahkan agar volume di dalam reaktor tetap. Sebelumnya, reaktor-

Tabel-1. Komposisi Kimia Bahan Model Limbah

	Informasi produsen	Hasil analisa
Protein	7,5 %	7,5 %
Lemak	3,5 %	4,3 %
Abu	2,5 %	2,0 %
Serat	0,5 %	0,1 %
Kadar Air	81,0 %	

reaktor tersebut diaduk pelan selama sekitar 1 menit. Pengadukan (60 rpm) juga dilakukan 4 kali dalam sehari selama 1 menit.

Pada kedua sistem digester dilakukan pengukuran Laju Produksi Gas dan pengukuran komposisi Gas (CH_4 dan CO_2) berdasarkan absorpsi sinar inframerah. Selain itu pada ketiga reaktor dilakukan pengukuran pH, *redox potential*, dan temperatur.

2.3 Analitik

Sample diambil dari suspensi effluent untuk dianalisa lebih lanjut. Kandungan asam lemak dianalisa dengan gas *chromatography* dengan detektor FID, di mana temperatur injektor 220°C, temperatur awal 175 °C akhir 210°C dengan kenaikan 4°C/min.

Konsentrasi ammonium diukur dengan metode reflectometri (Merck). *Total solid* (TS) ditentukan dengan memanaskan substrat pada 105 °C selama minimal 4 jam. *Volatile solids* (VS) ditentukan dengan pemanasan di *furnace* pada suhu 550 °C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengoperasian selama sekitar 180 hari diperoleh data-data perbandingan dari sistem digester anaerob termofilik satu dan dua fase. Data-data utama hasil perbandingan kedua sistem digester anaerobik termofilik tersebut dipaparkan dalam Tabel-2.

Tabel-2. Perbandingan Digester Anaerob Termofilik Satu dan Dua Fase.

Parameter	Satuan	Satu fase	Dua fase
HRT _{aman}	d	20	20
HRT _{min.}	d	15	No data
HRT _{over.}	d	10	No data
OLR _{max,HRT=20d}	$\text{g}_{\text{VS}}/\text{l} \cdot \text{d}$	1,13	3,75
OLR _{over,HRT=20d}	$\text{g}_{\text{VS}}/\text{l} \cdot \text{d}$	1,8	4,5
t _{Rec, Temp.}	d	9	4
t _{Rec, HRT}	d	12	No data
t _{Rec, OLR}	d	40	>20
pH	-	7 – 7,8	7,6 – 8,2
Redox	-mV	300 – 365	300 – 365
VFA _{total}	mol/l	50 – 200	50 – 200
CH ₄	%	40 – 65	40 – 65

Waktu tinggal hidraulis optimum dari digester satu fase berkisar pada 20 - 30 hari dengan laju produksi gas spesifis (sGPR) lebih dari 0,8 NI/($\text{g}_{\text{VS}} \cdot \text{d}$). Pada HRT 15 hari, sGPR turun ke 0,65 NI/($\text{g}_{\text{VS}} \cdot \text{d}$) dan pada HRT 10 hari turun mencapai kurang dari 0,30 NI/($\text{g}_{\text{VS}} \cdot \text{d}$). Dari data-data di atas bisa disimpulkan, bahwa pada digester satu fase ini, HRT minimal adalah 15 hari, dan HRT 10 hari menyebabkan kegagalan proses.

Sistem digester 2 fase dioperasikan pada HRT 20 hari untuk menginvestasi pengaruh laju beban organik, sehingga tidak ada data terkait dengan waktu tinggal hidraulis minimal.

Laju beban organik (OLR) maksimum dari digester satu fase adalah 1,13 $\text{g}_{\text{VS}}/(\text{l} \cdot \text{d})$ pada HRT 20 hari, di mana OLR 1,80 $\text{g}_{\text{VS}}/(\text{l} \cdot \text{d})$ menyebabkan *overload* beban organik pada HRT yang sama. OLR maksimum dari digester dua fase adalah 3,75 $\text{g}_{\text{VS}}/(\text{l} \cdot \text{d})$ pada HRT 20 hari. Digester anaerob dua fase mengalami kegagalan proses pada OLR sebesar 4,5 $\text{g}_{\text{VS}}/(\text{l} \cdot \text{d})$.

Sistem digester anaerob dua fase, selain memiliki stabilitas proses yang lebih tinggi dibanding dengan digester anaerob satu fase, ternyata juga bisa dioperasikan pada OLR yang jauh lebih tinggi (3,75 dibanding dengan 1,13 $\text{g}_{\text{VS}}/(\text{l} \cdot \text{d})$).

Di dalam Tabel-2 juga dipaparkan data waktu pemulihan stabilitas proses (t_{Rec}) dari kondisi gagal proses pada kedua sistem digester anaerob, dalam hal ini terkait dengan kegagalan atau gangguan proses karena perbedaan temperatur, karena *overload hidraulik* (HRT terlalu pendek), dan karena *overload organik* (OLR terlalu tinggi).

Setelah terjadinya lonjakan temperatur tersebut dari 55°C ke 65°C pada kedua reaktor metanogen selama sekitar 6 jam, digester dua fase memerlukan waktu 4 hari untuk mencapai 90% dari laju produksi gas semula, dan digester satu fase memerlukan lebih dari 9 hari, sampai tercapai laju produksi gas yang stabil, dan ini pun kurang dari 50% laju produksi gas semula.

Jelaslah, bahwa waktu pemulihan stabilitas proses pada sistem digester dua fase lebih singkat daripada sistem satu fase, yang berarti bahwa sistem digester dua fase lebih tahan terhadap fluktuasi temperatur dibanding dengan sistem satu fase. Hal ini adalah logis, karena interaksi dan jenis mikroba pada digester satu fase lebih kompleks daripada di reaktor metanogen pada sistem digester dua fase.

Setelah kegagalan proses karena *overload hidraulik* pada digester satu fase, waktu penstabilan kembali adalah 12 hari. Sedangkan digester dua fase dioperasikan pada HRT 20 hari atau lebih dari 20 hari, sehingga tidak pernah terjadi *overload hidraulik*.

Kegagalan proses karena *overload organik* pada digester satu fase (OLR 1,8 g_{vs}/(l*d)) memerlukan waktu penstabilan kembali yang lebih lama, yaitu sekitar 40 hari. Pada digester dua fase waktu penstabilan kembali belum bisa diketahui, karena data eksperimen hanya sampai hari ke-20 setelah terjadi *overload organik*, dan kondisinya tetap belum stabil.

Kegagalan proses karena *overload beban organik* memerlukan waktu pemulihan

kembali yang lebih lama dibanding karena *overload hidraulik* (HRT terlalu rendah). *Overload beban organik* kemungkinan besar menyebabkan akumulasi senyawa-senyawa inhibitor atau pun yang bersifat toksis terhadap mikroba yang terlibat dalam proses anaerob. Untuk itu, konsentrasi senyawa-senyawa pengganggu proses tersebut harus dikurangi atau diurai terlebih dahulu. Di lain pihak, *overload hidraulik* (HRT terlalu rendah) bisa menyebabkan *wash out* mikroba dari reaktor. *Wash out* ini bisa diatasi dengan memberikan waktu pada mikroba untuk tumbuh.

Angka pH pada digester satu fase berkisar pada angka 7–7,8, sedangkan para digester dua fase sedikit lebih tinggi, yaitu pada 7,6–8,2. Hal ini sangat logis, karena pada digester satu fase masih berlangsung proses hidrolisa, dan pada digester dua fase, hidrolisa sudah berlangsung di reaktor hidrolisa.

Kisaran nilai dari parameter redox potential, konsentrasi *volatile fatty acids* (VFA) keseluruhan, dan persentase CH₄ di Biogas tidak berbeda antara digester satu fase dan digester dua fase.

4. KESIMPULAN

Dari paparan hasil perbandingan di atas, bisa disimpulkan, bahwa digester dua fase selain lebih stabil juga bisa dioperasikan pada laju beban organik (OLR) yang jauh lebih tinggi daripada digester satu fase. Laju beban organik maksimum dari digester dua fase adalah 3,75 g_{vs}/(l*d) pada waktu tinggal hidraulik 20 hari, sedangkan pada digester satu fase hanya 1,13 g_{vs}/(l*d).

Pada laju beban organik 0,90 g_{vs}/(l*d), digester anaerob satu fase mencapai waktu tinggal minimum 15 hari dan waktu tinggal hidraulik 10 hari menyebabkan kegagalan proses. Waktu tinggal hidraulik optimum 20–30 hari.

Selain karena *overload hidraulik*, kegagalan atau ketidakseimbangan proses

bisa disebabkan oleh *overload* beban organik dan perubahan temperatur. Karena lonjakan temperatur, untuk pemulihan kembali digester dua fase memerlukan waktu 4 hari, jauh lebih cepat daripada digester satu fase yang memerlukan waktu pemulihan kembali lebih dari 9 hari.

Jadi, pada proses pengolahan limbah organik dari sisa makanan yang mengandung banyak lemak dan protein secara anaerob pada kondisi termofil (55°C), digester dua fase lebih unggul dibanding dengan digester satu fase terkait dengan stabilitas proses, laju beban organik maksimal, dan waktu pemulihan yang pendek.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cooney, C.L. and D.L. Wise. 1975. Thermophilic Anaerobic Digestion of Solid Waste for Fuel Gas Production, Biotech. Bioeng. 17 (8): 1119 – 1135.
2. Wiegant, W.M. 1986. Thermo-philic anaerobic digestion for waste and wastewater treatment, Dissertation, Agricultural University of Wageningen.
3. Scherer, P.A., G.-R. Vollmer, T. Fakhouri, S. Martensen. 2000. Development of a methanogenic process to degrade exhaustively municipal „grey waste“ under thermophilic and hyper-thermo-philic conditions, Water Sci. & Technol. 41(3): 83-91.
4. Raddatz, E. 1993. Untersuchungen zur Prozeß-stabilität von Methanfermentationen bei kurzzeitigen Substratstörungen und zur Verwertung biogen-organischer Feststoffe durch anaerobe thermophile Hydrolyse und Versäuerung, Dissertation, Technical University of Berlin.
5. Schäfer, J. 1998. Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Vergärung von Biomüll und Klärschlamm, Dissertation, University of Hohenheim.