

Penentuan Parameter Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Adrianto Ahmad

Laboratorium Rekayasa Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, FT, Universitas Riau, Pekanbaru 28293

Diterima 24-10-2002

Disetujui 01-07-2003

ABSTRACT

Kinetic study of anaerobic biodegradable process of liquid waste from oil palm factory was carried out. Kinetic parameters are important consideration in bioreactor design, especially maximum growth rate constant to determine residence time of minimum biomass. Residence time of minimum biomass is the most critical point of bioreactor operation in a process of industrial liquid waste. In this research, kinetic parameters of anaerobic biodegradable liquid waste of oil palm factory have been defined. The kinetic parameters are constant of half saturated (K_s), maximum specific growth rate (μ_m), amount of biomass obtained (Y), constant of microorganism death rate (k_d) and constant of maximum substrate utilization (k) i.e. 1,06 g/l, 0,187 day⁻¹, 0,395 gVSS/gCOD, 0,027 day⁻¹ dan 0,474 day⁻¹. Data was validated by relative error between total separated COD with total useful COD to be biomass and biogas which is less than 10%. Subsequently, kinetic parameters could be used in design of anaerobic baffled bioreactor system for oil palm factory's liquid waste process.

Keywords: continue anaerobe bioreactore, kinetic parameters, liquid waste

PENDAHULUAN

Minyak dan lemak merupakan komponen pencemar utama yang terdapat pada limbah cair pabrik kelapa sawit. Biodegradasi limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut berlangsung melalui berbagai lintasan (*pathway*) yang melibatkan berbagai kelompok bakteri anaerob. Biodegradasi ini juga melalui beberapa tahap proses yakni proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis dan proses metanogenesis (Gujer & Zehnder 1983).

Ahmad *et al*, (2001) telah melaporkan suatu model kinetika yang disusun berdasarkan mekanisme reaksi biodegradasi yakni tahap proses hidrolisis, proses pemanfaatan substrat hasil hidrolisis dan pembentukan gas metan. Model tersebut disusun berdasarkan asumsi awal bahwa distribusi mikrobial dalam sistem relatif seragam dan tercampur. Shieh *et al*, (1985) telah menentukan parameter kinetika dengan melihat proses biodegradasi anaerob tanpa melibatkan proses hidrolisis. Parameter kinetika merupakan dasar penting dalam desain bioreaktor terutama konstanta laju pertumbuhan mikroba maksimum untuk menentukan waktu tinggal biomassa minimum. Waktu tinggal biomassa minimum merupakan titik kritis pengoperasian bioreaktor dalam mengolah limbah cair industri minyak sawit. Perancangan yang aman menggunakan faktor keamanan (*safety factor*) 5 kali waktu tinggal biomassa minimum (Benefield & Randall 1980).

Sistem bioreaktor yang dipilih adalah bioreaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) karena lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem bioreaktor pertumbuhan melekat (*attached growth*). Keuntungan bioreaktor pertumbuhan tersuspensi antara lain: tidak memerlukan media pendukung untuk pertumbuhan mikroorganisme dan tidak mudah tersumbat (Sahm 1984). Disamping itu, bioreaktor yang dipilih memiliki rancang bangun sederhana, murah dan mudah pengoperasiannya serta kestabilan biomassa tinggi. Desain bioreaktor yang memenuhi karakteristik tersebut adalah bioreaktor berpenyekat anaerob karena bioreaktor ini mempunyai rasio waktu tinggal biomassa dengan waktu tinggal hidraulik jauh lebih besar dibandingkan dengan sistem bioreaktor tercampur sempurna (CSTR, *continuos stirred tank reactor*). Makalah ini berupaya untuk mengkaji parameter kinetika pada biodegradasi anaerob limbah cair pabrik kelapa sawit dalam bioreaktor berpenyekat anaerob.

BAHAN DAN METODE

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair sintetik dengan komposisi yang telah dilaporkan oleh Ahmad *et al*, (1999). Variabel proses yang digunakan adalah laju alir influen yakni 3 l/hari; 6 l/hari; 12 l/hari; 24 l/hari; 32 l/hari dengan beban organik sebesar 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 dan 8,6 kgCOD/m³ hari. Kondisi operasi bioreaktor pada pH 6,0 ± 0,2 dengan temperatur 35 ± 1°C. Parameter yang diamati antara lain COD total,

konsentrasi biomassa sebagai VSS, dan biogas. Metoda analisa sesuai dengan metoda standar (APHA, AWWA & WCFC 1992), sedangkan volume gas dengan metoda penampungan dengan larutan NaCl jenuh dan komposisi biogas dianalisa dengan khromatografi gas. Rancangan bioreaktor berpenyekat anaerob yang digunakan telah dilaporkan sebelumnya (Ahmad *et al*, 2000).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dikemukakan di bawah ini mencakup perbandingan kinerja sistem bioreaktor anaerob dan kinetika proses biodegradasi anaerob.

Verifikasi Data Penelitian. Keakuratan data penelitian yang digunakan untuk menganalisis parameter kinetika proses biodegradasi anaerob senyawa minyak-lemak ditunjukkan dari neraca COD selama proses tunak (*steady state*). Neraca COD pada keadaan tunak ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Neraca COD pada sistem bioreaktor berpenyekat anaerob.

SRT (hari)	COD tersisih (g/hari)	COD termanfaatkan (g/hari)			RE (%)	RE rata-rata (%)
		Bio gas	Bio massa	Total		
7,1	64,4	27,2	34,8	62,0	3,7	
23,1	51	20,3	27,5	48,0	5,9	
68,7	27,7	14,3	15,0	29,3	5,8	
132,8	14,1	7,8	7,6	15,4	9,2	
154,5	7,1	3,9	3,8	7,7	8,5	

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kesetimbangan COD yang tersisihkan pada waktu tinggal biomassa tertentu relatif baik terhadap nilai COD yang berubah menjadi produk biogas dan biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa data penelitian layak digunakan untuk mengkaji kinetika proses biodegradasi anaerob senyawa minyak-lemak.

Studi Kinetika Pada Proses Anaerob. Berbagai persamaan kinetika untuk proses anaerob telah dikembangkan oleh para peneliti, namun terdapat persamaan kinetika yang lebih sederhana yang dikembangkan oleh Shieh *et al*, (1985). Parameter kinetika tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{U} = \frac{\theta X}{(S_o - S_e)} = \left[\frac{K_s}{K} \right] \times \left[\frac{1}{S_e} \right] + \frac{1}{k} \tag{1}$$

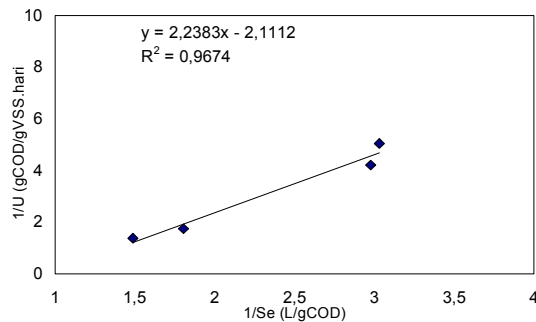
$$\frac{1}{Y_o} = \frac{(S_o - S_e)k_d}{X_e} = \left[\frac{1}{Y} \right] \theta_c + \frac{1}{Y} \tag{2}$$

$$\mu_m = k Y \tag{3}$$

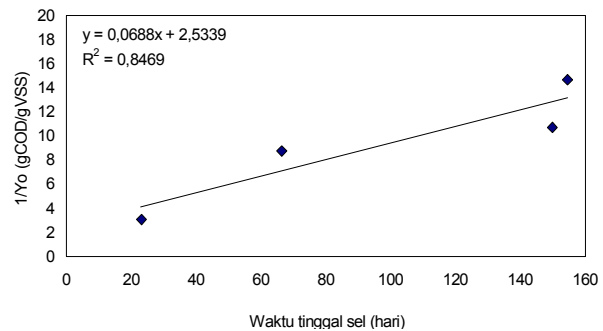
dengan

- U = laju pemanfaatan substrat spesifik (gCOD/VSS.hari)
- θ = waktu tinggal cairan (hari)
- θ_c = waktu tinggal sel (hari)
- S_o = konsentrasi COD umpan (g/L)
- S_e = konsentrasi COD keluaran bioreaktor (g/L)
- X = konsentrasi biomassa di dalam bioreaktor (gVSS/L)
- X_e = konsentrasi biomassa keluaran bioreaktor (gVSS/L)
- Y_o = perolehan biomassa hasil pengamatan (gVSS/gCOD)
- Y = perolehan biomassa sesungguhnya (gVSS/gCOD)
- k_d = laju kematian mikroorganismenya (hari⁻¹)
- K_s = konstanta setengah jenuh (g/L)
- K = laju pemanfaatan substrat maksimum (hari⁻¹)
- μ_m = laju pertumbuhan spesifik maksimum (hari⁻¹)

Persamaan 1 bila dialurkan 1/U dengan 1/S_e diperoleh kemiringan (*slope*) = K_s/k dan intersep = 1/k. Penentuan parameter kinetika K_s dan k diperlihatkan pada Gambar 1. Dari persamaan 2 bila dialurkan 1/Y_o dengan θ_c diperoleh kemiringan (*slope*) = k_d/Y dan intersep = 1/Y. Penentuan parameter kinetika k_d dan Y diperlihatkan pada Gambar 2. Sedangkan penentuan parameter kinetika μ_m diperoleh dari persamaan 3 = k Y.



Gambar 1. Menentukan parameter kinetika K_s dan k.



Gambar 2. Menentukan parameter kinetika k_d dan Y.

Dari Gambar 1 diperoleh 1) Intersep = 1/k = 2,1112; k = 1/2,1112; 2) k = 0,474 gCOD/gVSS.hari; 3) kemiringan = K_s/k = 2,2383; 4) K_s = 2,2383 x 0,474 = 1,060 g/l. Dari Gambar 2 diperoleh 1) Intersep = 1/Y = 2,5339; Y = 1/2,5339; 2) Y = 0,395 gVSS/gCOD; 3) kemiringan = k_d/Y = 0,0688; 4) k_d = 0,0688 x 0,395 = 0,027 hari⁻¹. Sedangkan parameter kinetika μ_m (laju pertumbuhan spesifik maksimum) diperoleh dengan: μ_m = k Y = 0,474 x 0,395 = 0,187 hari⁻¹.

Hasil perhitungan diperoleh parameter kinetika sebagai berikut: $K_s = 1,060 \text{ g/l}$, $\mu_m = 0,187 \text{ hari}^{-1}$, $Y = 0,395 \text{ gVSS/gCOD}$, $k_d = 0,027 \text{ hari}^{-1}$, $k = 0,474 \text{ hari}^{-1}$. Dengan cara yang sama menggunakan persamaan 1 sampai 3 dihitung parameter kinetika dari data percobaan beberapa peneliti. Perbandingan parameter kinetika tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Perolehan biomassa (Y) pada penelitian ini sebesar $0,395 \text{ gVSS/gCOD}$ tersisihkan tidak berbeda jauh dengan yang diperoleh oleh Hasanuddin (1993) yaitu sebesar $0,644$ pada tahap asidogenesis dan jauh lebih tinggi dibandingkan para peneliti lain (Faisal 1994; Shieh *et al*, 1985; Chin 1981). Namun jauh lebih rendah dari data Boopathy & Tilche (1991) yaitu sebesar $1,227$

Tabel 2. Perbandingan parameter kinetika dari berbagai hasil penelitian.

Jenis Bioreaktor	Limbah	K_s g/l	μ_m hari ⁻¹	Y gVSS/gCOD	k_d hari ⁻¹	k hari ⁻¹	Sumber Data
BIOPAN	Minyak sawit	6,87	0,762	0,059	0,006	12,91	Faisal, 1994
BUFAN	Minyak sawit	183,2	6,80	0,644	0,333	10,56	Hasanuddin, 1993
Dua tahap		122,8	2,359	0,867	0,129	2,72	
DIGESTER	Minyak sawit	9,65	-	0,035	0,027	3,12	Chin, 1981
Daur ulang sel							
DIGESTER tanpa daur ulang sel	Minyak sawit	4,032	-	0,140	0,037	0,87	Chin, 1981
BUFAN	Sintetik	0,154	0,16	0,08	0,09	2,0	Shieh, 1985
HABR	Molase	0,383	0,296	1,227	0,253	0,249	Boopathy dan Tilche, 1991
UASB	Pabrik Gula	48,9	3,121	-	-	-	Riera <i>et al</i> , 1985
BIOPAN	Minyak dan lemak	0,75	0,248	-	-	-	Ahmad <i>et al</i> , 2001
BIOPAN	Minyak dan lemak	1,060	0,187	0,395	0,027	0,474	Penelitian ini

BUFAN: bioreaktor unggun fluidisasi anaerob, HABR: *hybrid anaerobic baffled reactor*, UASB: *upflow anaerobic sludge blanket*, BIOPAN: bioreaktor berpenyekat anaerob.

Dari Tabel 2 diperoleh harga K_s $1,060 \text{ g/l}$ tidak berbeda jauh yang diperoleh oleh Chin (1981) yaitu $4,032 \text{ g/l}$ dan lebih tinggi yang diperoleh oleh Boopathy & Tilche (1991) dan Shieh *et al*, (1985), namun jauh lebih rendah yang diperoleh oleh Hasanuddin (1993) yaitu sebesar $183,2 \text{ g/l}$ pada tahap asidogenesis. Berbedanya harga K_s disebabkan karena berbedanya substrat yang digunakan dan berbedanya konsentrasi substrat yang diberikan. Konsentrasi substrat yang tinggi akan menyebabkan tingginya harga K_s . Harga K_s pada penelitian ini lebih tinggi dari pada harga K_s yang diperoleh oleh Ahmad *et al*, (2001).

Laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_m) pada penelitian ini diperoleh sebesar $0,187 \text{ hari}^{-1}$ tidak berbeda jauh dengan yang diperoleh oleh Boopathy & Tilche (1991) dan Shieh *et al*, (1985), namun jauh lebih rendah dari pada yang diperoleh oleh Hasanuddin (1993) yaitu sebesar $6,8 \text{ hari}^{-1}$ pada tahap asidogenesis. Laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_m) pada penelitian jauh lebih rendah dari pada yang diperoleh oleh Hasanuddin (1993) meskipun bibit sama-sama berasal dari kotoran sapi disebabkan karena berbedanya substrat yang digunakan dan berbedanya konsentrasi substrat yang diberikan. Konsentrasi substrat tinggi akan menyebabkan laju pertumbuhan menjadi tinggi.

gVSS/gCOD tersisihkan. Perolehan biomassa penelitian ini relatif sama dengan data kinetika yang dikemukakan oleh Ghosh & Klass (1978) dan Eastman & Ferguson (1981) yaitu berturut-turut $0,4$ dan $0,34 \text{ gVSS/gCOD}$.

Laju kematian mikroorganisme (k_d) pada penelitian ini diperoleh sebesar $0,027 \text{ hari}^{-1}$ tidak berbeda jauh dengan yang diperoleh oleh Shieh *et al*, (1985) dan Chin (1981) yaitu berturut-turut $0,03 \text{ hari}^{-1}$ dan $0,037$ Namun jauh lebih rendah dari data kinetika Hasanuddin (1993) yaitu sebesar $0,333$ dan Boopathy & Tilche (1991) yaitu sebesar $0,253 \text{ hari}^{-1}$. Sedangkan laju pemanfaatan substrat maksimum (k) pada penelitian diperoleh sebesar $0,474 \text{ hari}^{-1}$ lebih tinggi dari pada data kinetika dan Boopathy & Tilche (1991) yaitu sebesar $0,243 \text{ hari}^{-1}$.

KESIMPULAN

Parameter kinetika proses biodegradasi anaerob limbah cair pabrik kelapa sawit yang diperoleh pada penelitian ini yakni konstanta setengah jenuh (K_s), laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_m), perolehan biomassa (Y), konstanta laju kematian mikroorganisme (k_d) dan konstanta pemanfaatan substrat maksimum (k) yaitu berturut-turut $1,06 \text{ g/l}$, $0,187 \text{ hari}^{-1}$, $0,395 \text{ gVSS/gCOD}$, $0,027 \text{ hari}^{-1}$ dan $0,474 \text{ hari}^{-1}$.

Validasi data yang digunakan ditunjukkan oleh kesalahan relatif antara total COD tersisihkan dengan total COD dimanfaatkan menjadi biomassa dan biogas relatif lebih kecil dari 10%. Dengan demikian, parameter kinetika ini dapat digunakan dalam perancangan sistem bioreaktor berpenyekat anaerob untuk pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Prof Dr Oei Ban Liang, Dr Ir Tjandra Setiadi M Eng dan Dr Ir Mindriani Syafila MS atas saran dan kritik terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Setiadi, T., Syafila, M. & Liang, O.B. 1999. Bioreaktor berpenyekat anaerob untuk pengolahan limbah industri yang mengandung minyak dan lemak: pengaruh pembebanan organik terhadap kinerja bioreaktor. *Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*. Bandung, 19-20 Oktober 1999.
- Ahmad, A., Setiadi, T., Syafila, M. & Liang, O.B. 2000. Bioreaktor berpenyekat anaerob untuk pengolahan limbah industri yang mengandung minyak dan lemak: kajian dinamik bioreaktor dengan pembebanan organik rendah. *Prosiding Seminar Nasional Reayasa Kimia dan Proses*. Semarang, 26-27 Juli 2000.
- Ahmad, A., Setiadi, T., Syafila, M. & Liang, O.B. 2001. Model kinetika sistem bioreaktor berpenyekat anaerob untuk pengolahan limbah cair industri yang mengandung minyak dan lemak. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia*. Jakarta, 21-22 Maret 2001.
- APHA, AWWA & WCF. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC: American Public Health Association.
- Benefield, L.D. & Randall, C.W. 1980. *Biological Process Design for Wastewater*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc.
- Boopathy, R. & Tilche, A. 1991. Anaerobic Digestion of High Strength Molasses Wastewater Using Hybrid Anaerobic Baffled Reactor (HABR). *Water Res.* **25**: 785-790
- Chin, K.K. 198. Anaerobic treatment kinetics of palm oil sludge. *Water Res.* **15**: 199-202
- Eastman, J.A. & Ferguson, J.F. 1981. Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digester. *J. Water Pollut. Control Fed.* **53**: 352-365.
- Faisal. 1994. *Pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit dengan bioreaktor berpenyekat anaerobik*. Thesis Magister ITB. Bandung:
- Ghosh, S. & Klass, D.L. 1978. Two-phase anaerobic digestion. *Proc. Biochem.* **13**: 15-24.
- Gujer, W. & Zehnder, A.J.B. 1983. Conversion processes in anaerobic digestion. *Wat. Sci. Tech.* **15**: 127-167
- Hasanuddin, 1993. *Pengolahan limbah pabrik minyak kelapa sawit dengan bioreaktor unggun fluidisasi anaerobik dua tahap*. Thesis Magister. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Riera, F.S., Cordoba, P. & Sineriz, F. 1985. Use of UASB reactor for the anaerobic treatment of stillage from sugar cane Molasse. *Biotechnol. Bioeng.* **27**: 1710-1716.
- Sahm, H. 1984. Anaerobic wastewater treatment, advances in biochemical engineering. *Biotechnology* **29**: 83-115.
- Shieh, W.K., Li, C.T. & Chen, S.J. 1985. Performance evaluation of the anaerobic fluidised bed system: III. Process kinetics. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* **35B**: 229-234.