

MODEL MATEMATIKA PENYISIHAN SUBSTRAT DALAM BIOREAKTOR HIBRID ANAEROBIK YANG MENGOLAH AIR BUANGAN MENGANDUNG BAHAN ORGANIK TINGGI

MATHEMATICAL MODEL OF SUBSTRATE REMOVAL USING ANAEROBIC HYBRID BIOREACTOR TREATING HIGH ORGANIC CONTENT OF WASTEWATER

Ariani Dwi Astuti¹⁾ dan Asis H. Djajadiningrat²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

²⁾ Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak

Uji model menggunakan molase dengan konsentrasi 40.000 mg/L, waktu detensi 24, 30, 48, dan 72 jam dan rasio pertumbuhan tersuspensi dengan terlekat 1 : 2. Hasil simulasi menunjukkan penyisihan substrat tergantung waktu detensi dan VSS awal. Hasil percobaan memberikan perilaku yang mirip dengan simulasi model. Penyimpangan rata-rata COD dan VSS antara hasil penelitian dengan model masing-masing sebesar 11,67 % dan 26,67 %. Penyimpangan efisiensi penyisihan hasil percobaan terhadap hasil model rata-rata 25%.

Kata kunci : anaerobik, bahan organik, bioreaktor hibrid, model matematika

Abstract

A mosel trial run using molasses to represent high organic content of 40.000 mg/l was simulated using a detention time of 24, 30, 48, and 72 hours with a ratio of suspended growth to the attached growth of 1 : 2. The simulation showed that the substrate removal relied on the contact time and initial VSS concentration. The laboratory result went inaccurate with the simulation with difference of 11,67 % and 26,67 % for COD and VSS, respectively. The efficiency difference between the laboratory result and the model was 25 %.

Keywords: anaerobic, organic content, hybrid bioreactor, mathematical model

1. PENDAHULUAN

Air buangan yang mengandung bahan organik tinggi, berpotensi mencemari lingkungan alam sekitarnya. Salah satu usaha untuk mengatasinya adalah dengan pengolahan secara biologis. Untuk mengolah buangan dengan beban organik tinggi (COD > 4.000 mg/L) digunakan pengolahan biologi secara anaerobik. Keuntungan yang diperoleh dari pengolahan biologi secara anaerobik antara lain, tidak membutuhkan energi untuk aerasi (Speece, 1996), pembentukan biomassa yang harus dibuang hanya 10% bila dibandingkan dengan lumpur yang dihasilkan dalam proses aerobik, dihasilkan gas bio yaitu metan yang dapat menjadi sumber energi yang bermanfaat.

Menurut Lettinga tahun 1984 yang dikutip dari Speece (1996), 40% energi yang diperlukan untuk memproduksi etil alkohol dapat diperoleh dari pe-

ngolahan anaerobik. Saat ini pengolahan air buangan secara anaerobik semakin dikembangkan untuk dapat meningkatkan efisiensi proses diantaranya dengan pemisahan tahap proses dengan multi fasa, modifikasi desain bioreaktor, teknik immobilisasi biomassa.

Proses pengolahan anaerobik dengan menggabungkan pertumbuhan biomassa terlekat dan tersuspensi di dalam satu bioreaktor biasa disebut dengan "Reaktor Hibrid". Fasa asidogenesis diharapkan terjadi pada bagian tersuspensi (UASB), sedangkan fasa metanogenesis terjadi pada bagian terlekat (filter). Kelebihan dari desain ini adalah kapasitasnya dalam mempertahankan konsentrasi biomassa dengan jumlah yang tinggi di dalam reaktor sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan air buangan dengan kandungan beban organik yang lebih tinggi (Tilche dan Vierra, 1991).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi pertumbuhan terlekat dengan tersuspensi dalam satu reaktor (bioreaktor hibrid) memungkinkan penyisihan air buangan yang mengandung glukosa dengan efisiensi tinggi, walaupun saat ini efisiensinya masih rendah karena parameter optimum proses belum dapat tercapai. Beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja proses anaerobik diantaranya konsentrasi substrat awal, konsentrasi biomassa dan waktu detensi.

Dalam penelitian ini media yang dipergunakan sebagai media pendukung adalah bambu. Pemilihan bambu sebagai media karena bambu relatif murah dan mudah didapat dan cukup baik sebagai tempat melekatnya mikroorganisme. Hasil penelitian sebelumnya pada bioreaktor hibrid anaerobik menggunakan media bambu, plastik dan batu untuk mengolah glukosa beban tinggi memberikan hasil terbaik pada media bambu. Selain itu diperoleh efisiensi penyisihan COD 62% pada waktu detensi optimum 72 jam dengan pembebanan optimum 65.000 mg/L, variasi rasio fasa terlekat dengan fasa tersuspensi 1:1 (Sukartono, 1996). Dalam penelitian ini digunakan molase yang diencerkan untuk memperoleh air buangan organik tinggi.

Variasi rasio fasa terlekat dengan fasa tersuspensi akan mempengaruhi efisiensi penyisihan substrat. Penggunaan bioreaktor hibrid anaerobik untuk mengolah air buangan dengan kombinasi 1/3 fasa tersuspensi dengan 2/3 fasa terlekat memberikan efisiensi 80% (Speece, 1996). Selain dari itu diketahui bahwa pertumbuhan mikroorganisme metanogenesis memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan mikroorganisme asidogenesis, koefisien *yield* untuk air buangan yang mengandung karbohidrat memiliki rasio mikroorganisme asidogenesis:metanogenesis = 0,15:0,03 (Speece, 1996).

Simulasi dan uji model ini dilakukan untuk dapat memperoleh informasi mengenai perilaku proses pada reaktor hibrid anaerob pada kondisi aliran *plug flow*. Selain itu hasil simulasi ini diharapkan dapat digunakan sebagai pengetahuan dasar pada proses pengolahan air buangan yang mengandung bahan organik tinggi dengan reaktor hibrid anaerob.

2. METODOLOGI

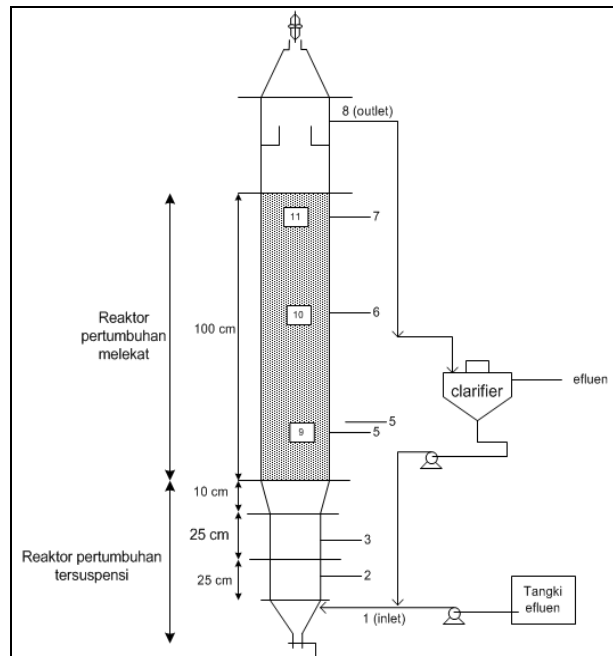
Molase yang diencerkan digunakan sebagai air buangan organik tinggi. Molase merupakan produk

samping dari industri pembuatan gula tebu yang kaya akan sumber karbon dan beberapa unsur penting. Komposisi molase terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Molasse

Parameter	Jumlah (ppm)	Parameter	Jumlah (ppm)
COD (gr/L)	285.2-566.35	Cu ²⁺	3.2-5.12
N	2510	Fe ²⁺	291.07
P	385	Mn ²⁺	18.63
SO ₄ ²⁻	25100	K ⁺	11600-18080
PO ₄ ³⁻	444-654	Na ⁺	134-200
Cl	34100	Ca ²⁺	7400-9840
Zn ²⁺	5.4-8.03	Mg ²⁺	860-1800
B	2.1	-	-

Reaktor terbuat dari PVC dengan tinggi 1,80 m dan terdiri dari 2 kompartemen. Bagian bawah merupakan reaktor tersuspensi sedangkan bagian atas, reaktor terlekat dengan rasio 1 : 2. Skema reaktor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaktor Hibrid Anaerobik

- Keterangan :
- 1 : titik inlet
 - 2,3 : titik sampling di reaktor pertumbuhan tersuspensi (RPS)
 - 4 : titik sampling di akhir RPS dan merupakan ilnet reaktor
 - 5,6,7 : titik sampling cairan di RPL
 - 8 : titik outlet
 - 12 : titik sampling gas
 - 9, 10, 11 : titik sampling media pendukung (bambu) di reaktor terlekat (RPL)

Karakteristik fisik dari reaktor penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 di berikut ini.

Tabel 2. Karakteristik Fisik Reaktor

Komponen Reaktor	Volume
Total Volume	63.9 L
Kompartemen tersuspensi :	
- volume	22.8 L
- diameter	8" = 20 cm
Kompartemen terlekat :	
- volume	41.1 L
- diameter	10" = 25 cm
Porositas	0.66
Jumlah bambu	2950
Luas Permukaan media/bambu	258.5 m ² /m ³
Ukuran Bambu	3 x 3 cm (± 2 mm)
Temperatur	26 ⁰ C

Seeding dan aklimatisasi dilakukan untuk mengembangkan dan mengadaptasikan mikroorganisme dengan buangan yang diolah. Mikroorganisme diperoleh dari Instalasi Pengolahan Limbah Bojongsong, rumen sapi dan dari reaktor UASB pabrik spiritus Wates Mojokerto. *Seeding* dilakukan secara batch dalam tong dengan memberikan substrat glukosa, nutrisi (N dan P), *trace* mineral dan untuk mengusir O₂ diinjeksikan gas N₂. Setelah jumlah bakteri cukup (VSS > 5.000 mg/L) dilakukan aklimatisasi. Tahap aklimatisasi mula-mula dilakukan secara *batch* dengan memberikan substrat glukosa dan molasse dengan peningkatan persentase molasse secara bertahap hingga akhirnya mencapai 100 %. Setelah itu mikroorganisme dimasukkan ke dalam reaktor dan dialirkan secara kontinu dengan waktu detensi 24 jam. Setelah mikroorganisme melekat pada media bambu, resirkulasi dihentikan.

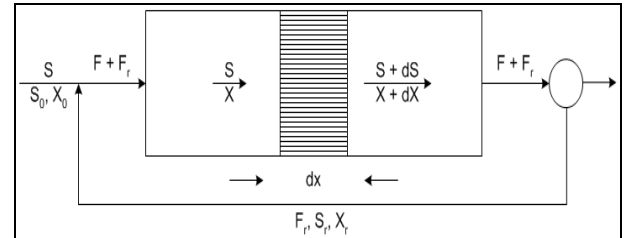
Reaktor dioperasikan pada variasi waktu detensi 24, 30, 48, dan 72 jam serta konsentrasi COD awal 40000 mg/L, 60000 mg/L, 90000 mg/L. pH influen (umpan) berada pada kondisi netral dengan menambahkan NaOH dan *buffer* NaHCO₃ untuk mempertahankan pH. Sampling dilakukan setelah mencapai kondisi tunak. Parameter yang dianalisa : COD, VSS, pH, alkalinitas, TAV, komposisi gas, analisa dilakukan sesuai dengan Standard Methods.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perhitungan neraca massa dilakukan beberapa asumsi dengan tujuan mempermudah dan memperjelas proses yang berlangsung dalam sistem. Beberapa asumsi tersebut meliputi pengamatan dilakukan dalam kondisi tunak (*steady state*), aliran yang terjadi merupakan aliran plug flow (aliran sumbat), ketebalan biofilm seragam, keseragaman bentuk dan ukuran media pendukung, berlaku hanya untuk

substrat yang larut dan pada klarifier tidak terjadi pengendapan $X_r = 0$

Skema proses pengolahan air buangan organik tinggi dengan reaktor hibrid anaerobik tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Dalam Reaktor Hibrid Anaerobik

Untuk neraca massa substrat, persamaan umumnya dapat dilihat pada Persamaan 1 berikut ini.

$$\frac{\partial S_b}{\partial t} V = \left\{ \begin{array}{l} (F + F_r) S_b + (F + F_r) (S_b + \partial S) \\ - \frac{\mu_m X_b S_b}{Y(K_m + S_b)} \partial V \end{array} \right\} \quad (1)$$

pada kondisi tunak (*steady state*), $dS/dt = 0$, sehingga persamaan menjadi seperti Persamaan 2.

$$F(1 + \alpha) \partial S_b + \frac{\mu_m X_b S_b}{Y(K_m + S_b)} \partial V = 0 \quad (2)$$

diketahui $dV = A dx$, dimana A merupakan luas melintang (basah) reaktor, maka Persamaan 2 dapat dituliskan seperti Persamaan 3 dan 4.

$$F(1 + \alpha) \partial S + \frac{\mu_m X_b S_b}{Y(K_m + S_b)} A \cdot \partial x = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_b}{\partial x} = - \frac{A}{F(1 + \alpha)} \frac{\mu_m X_b S_b}{Y(K_m + S_b)} \quad (4)$$

Laju aliran volume dan konsentrasi komponen yang masuk ke dalam reaktor merupakan campuran antara umpan masukan segar dengan masukan daur ulang dengan Persamaan 5 berikut.

$$F \cdot S_0 + F_r \cdot S_r = F(1 + \alpha) \cdot S_b \quad (5)$$

Atau dapat juga ditulis seperti Persamaan 6 di bawah ini.

$$S_b = \frac{S_0 + \alpha S}{1 + \alpha}, \text{ pada } x = 0 \quad (6)$$

Sedangkan untuk neraca massa mikroorganismenya, persamaan umumnya dapat ditulis seperti pada Persamaan 7 berikut ini.

$$\left(\frac{\partial X_b}{\partial t} \right) V = \left\{ \begin{aligned} & (F + F_r)X_b - (F + F_r)(X_b + \partial X) \\ & + \left(\frac{\mu_m X_b S_b}{K_s + S_b} - k_d X_b \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Pada kondisi tunak (*steady state*), $dX/dt = 0$ sehingga persamaannya menjadi seperti Persamaan 8 di bawah ini.

$$F(1 + \alpha)\partial X_b - \left(\frac{\mu_m X_b S_b}{K_s + S_b} - k_d X_b \right) \partial V = 0 \quad (8)$$

diketahui $dV = A \cdot dx$, dimana A merupakan luas melintang (basah) reaktor sehingga Persamaan 8 dapat dituliskan seperti pada Persamaan 9 dan 10 berikut.

$$F(1 + \alpha)\partial X_b - \left(\frac{\mu_m X_b S_b}{K_s + S_b} - k_d X_b \right) A \partial x = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial X_b}{\partial x} = \frac{A}{F(1 + \alpha)} \left(\frac{\mu_m X_b S_b}{K_s + S_b} - k_d X_b \right) \quad (10)$$

Laju aliran volume dan konsentrasi komponen yang masuk ke dalam reaktor merupakan campuran antara umpan masukan segar dengan masukan daur ulang seperti pada Persamaan 11 berikut ini.

$$F \cdot X_0 + F_r \cdot X_r = F(1 + \alpha) \cdot X_b \quad (11)$$

atau dapat ditulis seperti pada Persamaan 12 berikut ini.

$$X_b = \frac{X_0 + \alpha X_r}{1 + \alpha}, \text{ pada } X=0 \quad (12)$$

Untuk kompartemen terlekat persamaan neraca massa substrat adalah seperti Persamaan 13.

$$\frac{\partial S_b}{\partial x} + \left\{ \begin{aligned} & \frac{\mu_m h A_c L}{F(1 + \alpha)L} \left(\frac{X_o}{Y} + S_0 - S_b \right) \\ & + \left(\frac{q_m a_s L}{F(1 + \alpha)} \right) \eta_0 \end{aligned} \right\} \frac{S_b}{K_s + S_b} = 0 \quad (13)$$

Persamaan-persamaan tersebut di atas berbentuk suatu persamaan diferensial yang non linier sehingga agak sulit diselesaikan secara analitis, oleh karena itu persamaan diselesaikan secara numerik dengan metode Runga-Kutte orde empat, untuk penyelesaiannya digunakan bahasa program Fortran.

Simulasi model dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu detensi dan kondisi awal terhadap efisiensi penyisihan. Yang dimaksud dengan kondisi awal adalah VSS dan COD terlarut awal di dalam reaktor. Di samping itu juga akan dikaji perilaku VSS dan COD terlarut dalam reaktor pada kondisi aliran *plug flow* (aliran sumbat). Simulasi dilakukan pada konsentrasi COD umpan ± 40.000 mg/L dan waktu detensi 24, 30, 48, 72 jam kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan di laboratonum. Parameter kinetika yang digunakan yaitu laju pertumbuhan maksimum spesifik reaktor tersuspensi dan terlekat berturut-turut 0,04608/jam dan 0,062235/jam, laju kematian spesifik reaktor tersuspensi dan terlekat 0,03349/jam dan 0,0759 per jam, koefisien perolehan sel reaktor tersuspensi dan terlekat 0,214674 dan 0,02991 mg VSS/mg substrat, konstanta setengah jenuh reaktor tersuspensi dan terlekat 1.076,22 dan 9081 mg/L, konstanta Michaelis-Menten reaktor tersuspensi dan terlekat 8.245 dan 64.741 mg/L.

Pada waktu detensi 24 jam, terlihat bahwa hasil simulasi model mendekati hasil percobaan di laboratorium. Bila dilihat dari konsentrasi COD akhir dan VSS, antara hasil percobaan dengan model terdapat penyimpangan masing-masing 19% dan 19%. Sedangkan pada waktu detensi 72, 120, 168 jam penyimpangan yang terjadi berturut-turut adalah 10% dan 27%, 6% dan 27%, 70% dan 100%. Konsentrasi COD model (Y) = 0,9825 x konsentrasi COD hasil percobaan (X) dengan nilai $R^2 = 0,5832$ dan korelasi = 0,7637. Untuk waktu detensi 30 jam, $Y = 0,9295X$ dengan $R^2 = 0,887$, korelasi = 0,976228, waktu detensi 48 jam $Y = 0,7869X$ dengan $RZ = 0,2028$ dan korelasi = 0,478. Sedangkan untuk waktu detensi 72 jam, $Y = 0,9738X$ dengan $RZ = 0,8517$ dan korelasi 0,6234.

Bila dilihat dari nilai korelasi dan RZ -nya hasil percobaan pada waktu detensi 24 jam, 30 jam dan 72 jam cukup mendekati hasil simulasi model. Sedangkan pada waktu detensi 48 jam terjadi penurunan substrat yang cukup tajam pada bagian tersuspensi, yang disebabkan adanya sludge blanket (ditandai dengan adanya VSS yang tinggi), sehingga

penyisihan substrat yang terjadi melebihi hasil model. Karena hal ini menyebabkan input pada reaktor terlekat jauh lebih kecil daripada input reaktor terlekat hasil model. Sebenarnya hal terjadi juga pada waktu detensi 30 jam namun tidak penurunan yang terjadi pada reaktor tersuspensinya tidak sebanyak pada waktu detensi 48 jam.

Konsentrasi VSS akhir yang lebih tinggi dari hasil model dapat disebabkan adanya pelepasan mikroorganisme yang berasal dari media atau adanya mikroorganisme yang tertahan oleh filter. Pada titik kedua reaktor terkadang ditemui nilai VSS yang lebih tinggi dari model hal ini dapat disebabkan oleh adanya sludge blanket yang mungkin terbentuk di bagian tersuspensi. Sedangkan adanya puncak pada pola VSS menunjukkan titik beralihnya reaktor dari tersuspensi ke terlekat.

Efisiensi penyisihan yang diperoleh dari hasil percobaan berturut turut 14%, 45%, 35%, dan 56% sedangkan dari model adalah 28%, 37%, 30,9% dan 74%. Sehingga penyimpangan efisiensi yang terjadi adalah 50%, 17,8%, 11,7%, 24 % atau rata-rata 25%. Perbedaan pada hasil percobaan ini dapat terjadi karena pada model diasumsikan bahwa seluruh air buangan adalah bahan organik biodegradable sedangkan pada kenyataannya molase mengandung juga bahan yang tidak mudah didegradasi.

Pengaruh VSS awal terhadap efisiensi penyisihan substrat dapat dilihat dengan melakukan simulasi model pada berbagai VSS awal. VSS awal divariasikan yaitu pada 600, 800, 1.200, 1.400, 2.000, 2.500, 3.000 mg/L, dengan konsentrasi COD terlarut awal tetap 40000 mg/L. Simulasi juga dilakukan pada variasi waktu detensi 24, 30, 48, 72,120, 168 jam.

Pada kelompok 1 (VSS awal 600 mg/L) efisiensi penyisihan di atas 50% tercapai pada waktu detensi 120 jam. Sedangkan untuk kelompok 2 dan 3 hal itu terjadi pada waktu detensi 4872 jam dan 30 jam. Efisiensi penyisihan meningkat sejalan dengan bertambah lamanya waktu detensi. Efisiensi penyisihan pada kelompok 2 cenderung stabil setelah waktu detensi 120 jam, sedangkan kelompok 3 pada waktu detensi 72 jam. Hal ini berarti dengan semakin besarnya VSS awal akan mempengaruhi efisiensi penyisihan yang dicapai dan waktu detensi yang diperlukan dapat lebih kecil. Misalnya untuk waktu detensi 24 jam, efisiensi penyisihan >

50% bila VSS awal > 2.500 mg/L dan bila menginginkan efisiensi 80% dapat dilakukan dengan waktu detensi 48 jam dan VSS awal 3.000 mg/L. Dengan demikian dapat disimpulkan untuk memperoleh efisiensi penyisihan yang tinggi tergantung pada VSS awal. Selain dipengaruhi oleh VSS awal, efisiensi penyisihan juga sangat dipengaruhi oleh waktu detensi. Dari hasil simulasi ini kita juga dapat memperkirakan waktu detensi optimum yang digunakan untuk mencapai suatu nilai efisiensi penyisihan substrat.

Pada waktu detensi 48 jam dengan semakin meningkatnya konsentrasi COD awal, efisiensi penyisihan mengalami penurunan. Efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada konsentrasi COD awal 10.000 mg/L yaitu 54,7%. Sedangkan pada waktu detensi 72 jam terdapat pola yang agak berbeda. Pada konsentrasi COD awal 10.000 mg/L efisiensi penyisihan adalah 66,7% kemudian menurun pada konsentrasi 20.000 mg/L dapat meningkat lagi pada konsentrasi COD awal 30000 mg/L hingga 70.000 mg/L. Efisiensi penyisihan pada konsentrasi COD awal 80.000-90.000 mg/L mengalami penurunan kembali. Perbedaan efisiensi penyisihan (naik dan turunnya) pada waktu detensi 72 jam ini tidak terlalu besar dan relatif sama. Pola efisiensi penyisihan pada waktu detensi 120 dan 168 jam hampir sama dengan pola pada waktu detensi 72 jam. Perbedaannya terletak pada besarnya efisiensi penyisihan yang terus meningkat dan terjadi pergeseran untuk nilai konsentrasi COD awal yang mengalami penurunan efisiensi penyisihan.

Pada waktu detensi 120 jam efisiensi penyisihan terkecil pada konsentrasi COD awal 20 000 mg/L sedangkan untuk waktu detensi 168 jam hal ini terjadi pada konsentrasi COD awal 30.000 mg/L. Hal ini berarti efisiensi penyisihan substrat dipengaruhi oleh konsentrasi COD awalnya dan juga waktu detensinya. Untuk waktu detensi 48 jam agar diperoleh efisiensi penyisihan > 50% konsentrasi COD awalnya harus < 30.000 mg/L. Sedangkan untuk waktu detensi > 72 jam konsentrasi COD awal hingga 90.000 mg/L dapat disisihkan dengan efisiensi penyisihan cukup tinggi (> 66%). Walaupun demikian perbedaan peningkatan atau penurunan efisiensi relatif tidak terlalu besar sehingga dapat disimpulkan efisiensi penyisihan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi COD awal.

Pada waktu detensi 48 jam pola yang terjadi hampir sama, efisiensi penyisihan mengalami penuru-

nan sejalan dengan peningkatan konsentrasi COD awal. Demikian juga pada waktu detensi 72, 120, 168 jam terjadi pola yang sama seperti sebelumnya, hanya terjadi pergeseran titik terjadinya efisiensi penyisihan terendah dari besarnya nilai efisiensi penyisihan. Pada VSS awal 2.500 mg/L ini, efisiensi penyisihan terendah pada waktu detensi 72, 120, 168 jam terjadi pada konsentrasi COD awal berturut-turut 20.000, 40.000, 60.000 mg-/L.

Pola pada waktu detensi 72, 120, 168 jam dapat terjadi karena dengan semakin lamanya waktu detensi, berarti laju suplai makanan semakin kecil sehingga bila konsentrasi COD awal bertambah besar dapat meningkatkan jumlah makanan bagi mikroorganismenya. Hal ini terjadi sampai batas konsentrasi tertentu yang tergantung pada waktu detensi dan VSS awalnya. Walaupun demikian seperti telah dijelaskan di atas, perbedaan peningkatan atau penurunan efisiensi relatif tidak terlalu besar sehingga dapat disimpulkan efisiensi penyisihan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi COD awal.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan tergantung pada VSS awal dan waktu detensi. Dengan semakin tingginya VSS awal akan memberikan efisiensi penyisihan lebih tinggi dan waktu detensi yang diperlukan lebih pendek. Penyimpangan rata-rata VSS dan COD antara hasil model dengan hasil percobaan masing-masing 11,67 dan 26,67%. Sedangkan nilai regresi RZ dari korelasi hasil percobaan dengan hasil model untuk waktu detensi 24, 30, 48, 72 jam berturut-turut adalah 0,5832 dari 0,7634, 0,887 dari 0,9762, 0,2028 dari 0,47788, -0,8517 dan 0,9738. Selama itu diperoleh data penyimpangan efisiensi hasil percobaan dengan hasil model rata-rata adalah 25%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan cukup mendekati hasil model.

NOTASI

S₀ = konsentrasi
 X₀ = konsentrasi biomassa
 F = laju alir/debit
 Y = koefisien hasil
 L = panjang reaktor
 H = fraksi luas yang dilalui fluida (porositas)
 a = rasio resirkulasi
 as = AS/L, AS merupakan luas permukaan biofilm

l_{4n} = laju pertumbuhan maksimum spesifik
 k_d = laju kematian spesifik
 r₀ = laju penyisihan substrat
 q_n = laju penyisihan substrat maksimum
 K_s = konstanta setengah jenuh
 K_m = konstanta Michaelis-Menten

DAFTAR PUSTAKA

- Levenspiel, O. (1995). **Chemical Reaction Engineering**. John Wiley & Sons Inc. Singapura
- Malina, J.F. dan Pohland, F.G. (1992). **Design of Anaerobic Processes for the Treatment Of Industrial and Municipal Wastes**. Technomic Publishing Company. Pennsylvania
- Negri, E. D. (1993). **A Mathematical Model of Volatile Fatty Acids (VFA) Production in a Plug-Flow Reactor Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Waste (MSW)**. *Water Science Technology*. Vol. 27. (2). hal. 201-208.
- Riba, J.P. dan Wilhelm, M. (1989). **Bioreactor dalam buku Process Modeling and Control in Chemical Engineering**. Marcel Dekker. New York
- American Public Health Association (AWWA). (1995). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington DC.
- Sukartono, R. T. (1996). **Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Degradasi Glukosa Beban Tinggi Pada Bioreaktor Upflow Hybrid Anaerob Media Bambu Dengan Acuan Industri Ethanol**. Jurusan Teknik Lingkungan. ITB. Bandung.
- Speece, R. E. (1996). **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater**. Archase Press. Tennessee
- Tilche, A. dan Vieira, M. (1991). **Discussion Report on Reactor Design of Anaerobic Filters and Sludge Bed Reactors**. *Water Science And Technology*. Vol. 24. (8). hal. 193-206.