

MODEL KINETIKA PROSES KONTAK STABILISASI DALAM MENGOLAH
AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

Oleh :
Eko Harsono*)

ABSTRACT

Textile industrial wastewater treatment experiment using contact stabilization process method was conducted in laboratory scale. Experiment objective is to develop kinetic model of contact stabilization process for BOD removal in textile industrial wastewater under influence of tropical climate.

Experiment was conducted in continuous flow with influent discharge (Q) 24 L/days and sludge recycle ratio (R) 100%. Combination of contact tank volume (V_c) and stabilization tank volume (V_s) was conducted at $V_c:V_s=3$ L:2 L, $V_c:V_s=3$ L:4 L, $V_c:V_s=3$ L:5 L and $V_c:V_s=2$ L:4 L. The process parameter using sludge age (θ_c) was conducted at θ_c 46, 30, 16, 10, 6 and 4 days.

The result show that α parameter value is not influenced by θ_c , but is under influenced by variation of $V_c:V_s$ combination. Kinetic parameter values K_d , Y_t , q_m , and K_s at $V_c:V_s=3$ L:2 L, and $V_c:V_s=3$ L:5 L do not have high enough substrate (BOD) utility performance if compare with $V_c:V_s=3$ L:4 L and $V_c:V_s=2$ L:4 L. Modeling result, kinetic modeling X_c and X_s result at all $V_c:V_s$ combination which are conducted follow observation result, or the other way around. Result of BOD removal ability kinetic modeling at combination of $V_c:V_s=3$ L:2 L and $V_c:V_s=2$ L:4 L are not accordance with observation result, but at combination of $V_c:V_s=3$ L:4 L and $V_c:V_s=3$ L:5 L are accordance with observation result, or the other way around.

Based on modeling result and consideration of total tank volume, combination of $V_c:V_s=3$ L:4 L modeling can be used for advanced approach method for textile industrial wastewater treatment design.

Key word : model, contact stabilization, kinetic, laboratory scale, biomass, treatment.

*) Staf Peneliti Puslitbang Limnologi, LIPI

ABSTRAK

Percobaan pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan metode proses kontak stabilisasi, telah dilakukan pada skala laboratorium. Tujuan percobaan adalah untuk menyusun model kinetika proses kontak stabilisasi dalam mengolah air limbah tekstil di iklim tropis.

Percobaan dilakukan pada aliran menerus dengan debit influent (Q) 24 L/hari, dan ratio pengembalian lumpur (R) 100 %. Kombinasi volume tangki kontak (V_c) dan stabilisasi (V_s) dilakukan pada $V_c:V_s=2$ L:4 L. Parameter proses menggunakan umur lumpur (θ_c) yang dilakukan pada θ_c 46, 30, 16, 10, 8, 6, dan 4 hari.

Hasil percobaan menunjukkan nilai parameter α tidak dipengaruhi oleh θ_c , akan tetapi dipengaruhi oleh perubahan kombinasi $V_c:V_s$. Nilai parameter kinetika K_d , Y_t , q_m , dan K_s pada $V_c:V_s=3$ L:2 L dan $V_c:V_s=3$ L:5 L, menunjukkan kemampuan penggunaan substrat (BOD) kurang tinggi, jika dibandingkan dengan kombinasi $V_c:V_s=3$ L:4 L dan $V_c:V_s=2$ L:4 L. Hasil pemodelan kinetika dari X_c dan X_s pada semua kombinasi $V_c:V_s$ yang telah ditetapkan, mengikuti hasil observasi atau sebaliknya. Sedangkan hasil pemodelan kinetika dari kemampuan removal BOD, kombinasi $V_c:V_s=3$ L:2 L dan $V_c:V_s=2$ L:4 L tidak sesuai dengan hasil observasi atau sebaliknya, akan tetapi hasil pemodelan pada kombinasi $V_c:V_s=3$ L:4 L dan $V_c:V_s=3$ L:5 L sesuai dengan hasil observasi, atau sebaliknya. Berdasarkan pada hasil pemodelan dan pertimbangan dari volume total $V_c:V_s$, hasil pemodelan dari kombinasi $V_c:V_s=3$ L:4 L dapat digunakan sebagai pendekatan lebih lanjut dalam design pengolahan air limbah tekstil.

Kata kunci model, kontak stabilisasi, kinetik, skala laboratorium, biomassa, pengolahan.

I. PENDAHULUAN

Pengolahan Air limbah secara biologis proses kontak-stabilisasi, merupakan salah satu modifikasi (pengembangan dari proses lumpur aktif konvensional. Modifikasi dilakukan pada tangki aerasi, yaitu dibagi menjadi dua bagian. Bagian ke satu menjadi tangki kontak, dan bagian ke dua adalah tangki stabilisasi.

Berdasarkan hasil penelitian para pakar, proses kontak stabilisasi mempunyai kelebihan dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional. Untuk jenis air limbah dan debit pengolahan yang sama, beban organik yang dapat diterima pada proses kontak stabilisasi lebih tinggi, dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional (Bon, 1969). Kemampuan mengendap (*decantability*) lumpur dari tangki kontak lebih baik dan masalah pengambungan lumpur tidak ditemui (Jenkins dan Orthon, 1972). Lumpur di tangki kontak, mempunyai kemampuan untuk mengikat bahan-bahan dalam bentuk suspensi kedalam bioflok, sehingga operasi pada rangkaian bak pertama (sebelumnya) tidak terlalu ketat (Jones, 1979).

Dalam pengolahan air limbah industri tekstil di Indonesia, pada umumnya telah menggunakan cara proses lumpur aktif konvensional. Namun di dalam operasinya, sering ditemukan kegagalan, sehingga pada gilirannya efisiensi penurunan BOD menjadi kecil bila dibandingkan dengan rencana yang diharapkan. Kegagalan tersebut disebabkan oleh adanya pengambungan lumpur (*bulking*), masuknya partikulat, perubahan beban yang mendadak dan lainnya.

Untuk mendapatkan efisiensi penurunan BOD dan operasi yang mudah dalam pengolahan air limbah industri tekstil, proses kontak stabilisasi dapat memberikan alternatif dalam pengembangan proses lumpur aktif konvensional yang telah

terinstalasi. Namun demikian di dalam aplikasi untuk mengolah air limbah secara biologis, untuk menentukan perbandingan antara volume tangki kontak dengan volume stabilisasi untuk mendapatkan proses yang optimum sangat sulit. Apabila di dalam penentuan tersebut dilakukan dengan tepat, maka volume total tangki keseluruhan yang dibutuhkan pada proses kontak stabilisasi, lebih kecil dibandingkan dengan volume tangki aerasi proses lumpur aktif konvensional. Perbedaan tersebut dapat mencapai setengah sampai sepertiganya (Ramalho, 1977).

Dalam penelitian ini, merupakan percobaan untuk menyusun model kinetika proses kontak stabilisasi dalam mengolah air limbah industri tekstil pada skala laboratorium. Hasil penelitian diharapkan dapat berguna untuk metode pendekatan untuk menentukan volume tangki kontak dan stabilisasi dari proses tersebut.

II. BAHAN DAN METODE

2.1. Prinsip Kinetika Yang Diterapkan

Dasar kinetika yang digunakan didalam pengembangan model kinetika proses kontak stabilisasi adalah sebagai berikut,

- Hubungan laju penggunaan substrat oleh mikroorganisme, yaitu menurut Lawrence dan McCarty (1970)

$$(ds/dt) = (q_m \cdot S_e \cdot X) / (K_s + S_e) \quad \text{---} \quad 1$$

(ds/dt) = laju penggunaan substrat oleh mikroorganisme,
M/L³/T,

q_m = laju penggunaan substrat spesifik maksimum,
1/T,

S_e = konsentrasi substrat sisa di sekitar mikroorganisme, M/L³,

K_s = konstanta kejenuhan yang mempunyai harga sama

dengan konsentrasi substrat sisa jika,
 $(ds/dt)u/(X) = 1/2 \text{ gm,}$

X = konsentrasi biomassa (lumpur mikroorganisme)
 M/L^3

Menurut Pirt (1975), $(ds/dt)u/(X) = q$ = laju penggunaan substrat spesifik ($1/T$). Maka persamaan 1 menjadi,

$$s_e = (q \cdot K_s)/(q_m - q) \quad \text{-----} \quad 2$$

- Hubungan laju pertumbuhan bersih biomassa yaitu, menurut Heukelekian et al (Benefield et al, 1980),

$$(dx/dt)g = Y_t \cdot (ds/dt)u - K_d \cdot X \quad \text{-----} \quad 3$$

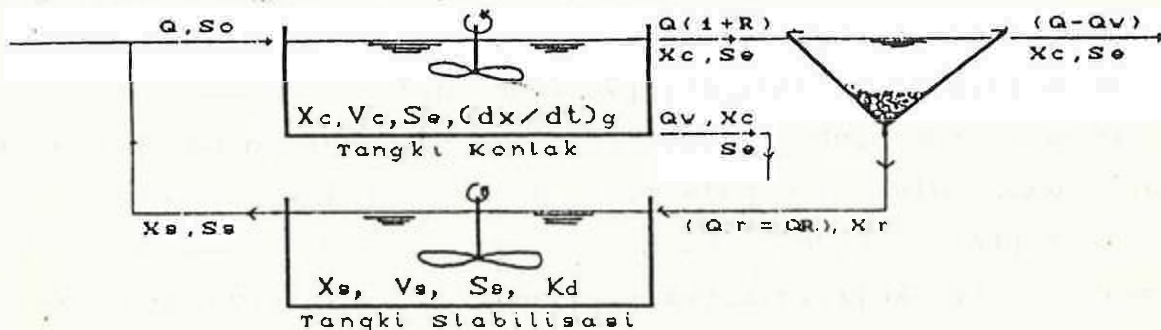
$(dx/dt)g$ = laju pertumbuhan biomassa $M/L^3/T$,

Y_t = koefisien hasil (growth yield),

K_d = koefisien peluruhan (kematian) dari mikroorganisme.

2.2. Model Kinetika Proses Kontak Stabilisasi

Model kinetika proses kontak stabilisasi menerapkan prinsip tumbuh/luruh (*growth/decay*) (Orthon dan Jenkins, 1972). Maksud prinsip tersebut bahwa menganggap sel mikroorganisme (biomassa) berkembang oleh pertumbuhan dan kematian (*decay*) terjadi di tangki kontak, sedang di tangki stabilisasi hanya terjadi kematian dan di dalam bak pengendap tidak terjadi reaksi baik pertumbuhan maupun kematian. Prinsip tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar 1.



Tangki Stabilisasi

Gambar 1. Skema Prinsip Tumbuh/Luruh Pada Proses

Keterangan : X : konsentrasi Biomassa, M/L^3 ,
 V : Volume tangki, L^3 ,
 S : Konsentrasi substrat, M/L^3 ,
 Q : Debit aliran, L/T ,
 R : $Q_r/Q \times 100\%$ = Ratio debit resirkulasi,
 $(dx/dt)_g$: Laju pertumbuhan biomassa,
 notasi c = tangki kontak ; s = tangki stabilisasi
 e = effluent; r = resirkulasi; 0 = mula-mula
 (influent) dan w = wasted (dibuang).

Pembuangan lumpur di sini dimaksudkan untuk mendapatkan parameter operasi umur lumpur q_c . Umur lumpur didefinisikan sebagai waktu tinggal biomassa di dalam sistem, atau berdasarkan gambar di atas $q_c = (V_c.X_c + V_s.X_s)/(Q_w.X_c)$.

Berdasarkan prinsip kinetika yang diterapkan dan gambar 1, dapat diturunkan model-model kinetika dari proses kontak stabilisasi dengan parameter proses θ_c sebagai berikut.

- Kuantitas Biomassa Di Dalam Tangki Kontak dan Stabilisasi

Untuk menurunkan model kinetika kuantitas biomassa di dalam tangki kontak, dikembangkan dari neraca massa substrat (BOD) pada kondisi tunak (*steady-state*), yaitu

$(ds/dt).V_c = Q.S_o + R.Q.Se - (ds/dt)u.V_c - (Q-Q_w+Q_r)Se - Q_w.Se$.
 Bila $q = (ds/dt)u/X_c = [Q.(S_o-Se)]/(V_c.X_c)$, maka pada penurunan lebih lanjut akan diperoleh model kinetika kuantitas biomassa di dalam tangki kontak, yaitu

$$X_c = [\alpha.Q.\theta_c.Y_T (S_o-Se)]/[V_c(1+\theta_c-K_d)]. \quad \text{-----} \quad 4$$

Dengan diperolehnya model X_c , maka berdasarkan batasan dari α dan β dapat diperoleh pula model dari X_s , yaitu

$$X_s = (1/\alpha - 1)(V_c/V_s)X_c. \quad \text{-----} \quad 5$$

Di mana $\alpha = [V_c.X_c]/[V_c.X_c+V_s.X_s]$ dan $\beta = [V_s.X_s]/[V_c.X_c+V_s.X_s]$, dan $\alpha + \beta = 1$.

- Kemampuan Pengolahan (*Removal*) Subtrat (BOD5)

Untuk merumuskan model kinetika dari kemampuan pengolahan, dikembangkan dari neraca biomassa total di dalam sistem pada kondisi tunak, yaitu $(dX_T/dt)V_T = (dX_c/dt)V_c - K_d.V_c.X_c - Q_w.X_c$. Di mana $X_T = X_c + X_s$ dan $V_T = V_c + V_s$. Dengan penurunan lebih lanjut akan diperoleh model kinetika effluent (S_e), sebagai $S_e = [K_s(1/\theta_c + K_d)]/[q_m.Y_T.\alpha - 1/\theta_c - K_d]$.

Apabila efisiensi pengolahan, $\eta = [(S_o - S_e)/S_o] \times 100\%$, maka model kinetika kemampuan pengolahan adalah,

$$\eta = \{1 - [K_s(1/\theta_c + K_d)]/[S_o(q_m.Y_T.\alpha - 1/\theta_c - K_d)]\} \times 100\%. \text{---} 6$$

2.3. Parameter Model Kinetika

Parameter model kinetika yang harus dicari adalah α , q_m , Y_T , K_s dan K_d . Untuk menentukan harga parameter tersebut dilakukan dengan sebagai berikut,

- parameter α ditentukan berdasarkan pada pengukuran kuantitas biomassa di tangki kontak dan stabilisasi pada setiap kondisi operasi yang ditetapkan.
 - Parameter K_s dan q_m ditentukan berdasarkan pelinieran model kinetika S_e , yaitu menjadi persamaan regresi sederhana sebagai berikut, $[Y_T.\alpha]/[(1/\theta_c) + K_d] = (1/q_m) + (K_s/q_m).(1/S_e)$.
 - Parameter Y_T dan K_d ditentukan berdasarkan pada pelinieran model kinetika X_c , yaitu menjadi persamaan regresi sederhana sebagai berikut, $[Q.\alpha(S_o - S_e)]/[V_c.X_c] = (K_d/Y_T) + (1/Y_T).(1/\theta_c)$.
- Untuk memperoleh parameter-parameter di atas, pengubahan operasi proses kontak stabilisasi skala lab. dilakukan pada umur lumpur θ_c , V_c dan V_s .

2.4. Uji Kemiripan Model

Uji kemiripan model dilakukan dengan membandingkan dengan hasil observasi model. Model dikatakan mirip, apabila nilai kesalahan model terhadap observasi kurang dari 10 %. Dimana

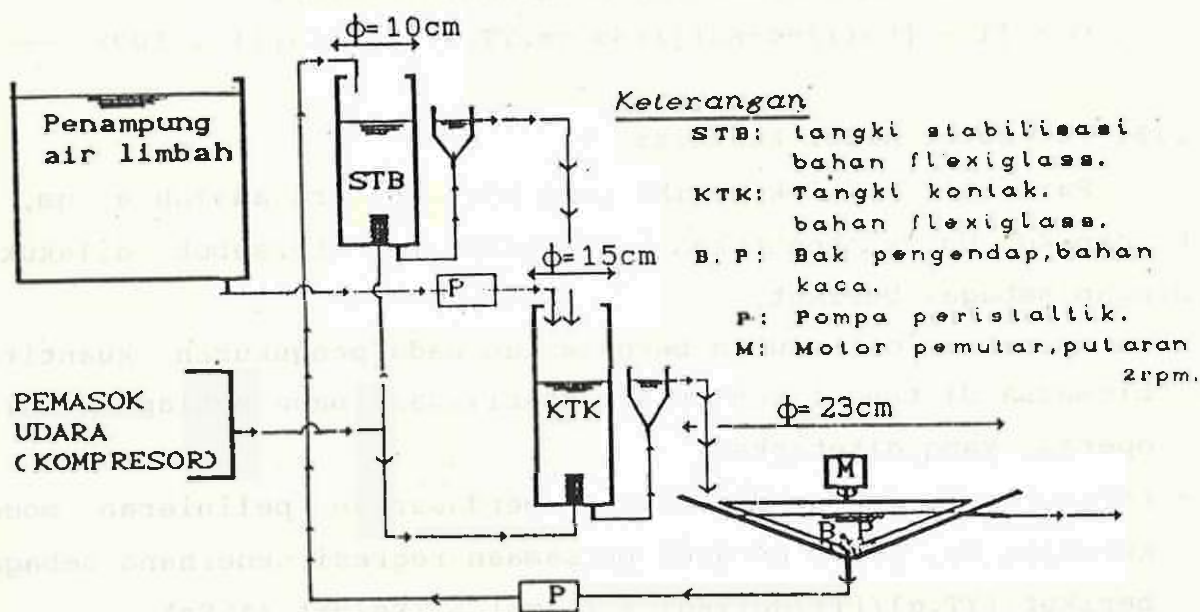
nilai kesalahan dihitung dengan,

$$\text{Nilai kesalahan } E = \{ \sum (\text{observasi} - \text{model}) / N \} \times 100\%$$

N = jumlah observasi

2.5. Model Instalasi Proses Kontak Stabilisasi Skala Laboratorium

Untuk melakukan penelitian ini digunakan model instalasi proses kontak stabilisasi skala lab. seperti pada gambar 2.



gambar 2. Model Instalasi Proses Kontak Stabilisasi Skala laboratorium

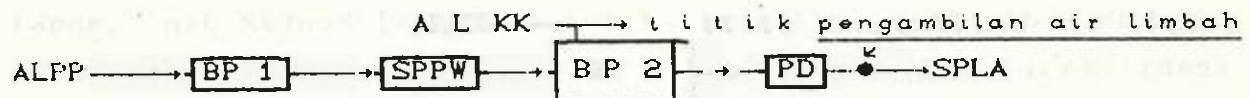
Seluruh percobaan pengolahan air limbah, dilakukan secara aliran menerus, reaktor tercampur sempurna baik di tangki kontak maupun stabilisasi, debit pembebanan (Q) = 1 l/jam, dan faktor resirkulasi lumpur (R) = 100 %. Di samping itu seluruh percobaan dilakukan pada temperatur kamar.

Kondisi tercampur sempurna (*Completely mixed*) di reaktor kontak dan stabilisasi, diperoleh dengan pengadukan oleh aliran udara dari kompresor lewat batu "diffuser". Aliran udara

tersebut dimaksudkan juga sebagai pemasok udara (oksigen), yaitu untuk memperoleh oksigen terlarut (DO) di tangki kontak dan stabilisasi lebih besar dari 3 mg/l.

2.6. Limbah Yang Digunakan Dalam Penelitian

Air limbah yang diolah, adalah air limbah industri tekstil Unitex di Kab. Bogor. Titik pengambilan air limbah dapat dilihat pada gambar 3. Dan pengambilan air limbah dilakukan setiap hari sebanyak 30 l dengan jerigen



Gambar 3. Sketsa Titik Pengambilan air limbah

Keterangan gambar 3 :

ALPP: Air limbah dari proses produksi

BP 1: Bak penampung air limbah dari proses produksi

SPPW: Satuan proses penghilang warna air limbah.

ALKK: Air limbah dari kegiatan karyawan (umum)

BP 2: Bak penampung air limbah campuran

PD : Pengukur debit influent.

SPLA: Satuan proses lumpur aktif

2.7. Kondisi Operasi Proses Kontak Stabilisasi Skala Lab.

Operasi proses kontak stabilisasi skala lab. dalam penelitian ini, dilakukan dengan mengubah-ubah parameter proses umur lumpur, volume tangki kontak dan stabilisasi. Umur lumpur diperoleh dengan cara membuang lumpur dari tangki kontak, banyaknya lumpur yang dibuang $Q_w = [V_c / \theta_c] / [1/\alpha]$ (penurunan

dari definisi θ_c dan α).

Kondisi operasi tersebut adalah, untuk kombinasi $V_c:V_s$ adalah $V_c:V_s=3l:2l; V_c:V_s=3l:4L ; V_c:V_s=3l:5L$ dan kombinasi $V_c:V_s=2l:4l$. Sedangkan θ_c , dilakukan pada θ_c 46, 30, 16, 10, 8, dan 4 hari

2.8. Sampling dan Analisis

Sampling dilakukan pada setiap kondisi tunak tercapai. Kondisi tunak telah tercapai, apabila selisih pengamatan COD $KMnO_4$ *influent* dan *effluent* telah konstan (ketelitian + 10%). Pada setiap kondisi operasi yang telah ditetapkan, sampling dilakukan di titik *influent*, *effluent*, tangki kontak dan tangki stabilisasi. sampling dilakukan sebanyak tiga kali pergantian air limbah yang diolah.

Sedangkan parameter kualitas air yang dianalisis adalah, $BOD_5(20)$ (dilakukan dengan metode Manometrik), dan *Volatile suspended solid* sebagai indikator biomassa (dilakukan dengan metode Gravimetrik).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas Air Limbah Yang Digunakan Dalam Penelitian

Hasil monitoring kualitas air limbah yang diolah disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Monitoring Air Limbah Yang Akan Diolah

parameter	kisaran	rata ²	n	parameter	kisaran	rata ²	n
TN mg/L	14,63-27,8	21,07	14	pH	8,71-11,27	9,93	148
TP mg/L	1,10-2,41	1,61	14	Suhu °C	24-28,80	26,73	149
Fe ppm	1,174-1,281	1,24	7	DO mg/L	0-0,20	0	148
Zn ppm	0,008-0,179	0,105	7	T.S mg/L	5630-880	699,4	91
Cr ppm	0,032-0,113	0,063	7	TFS mg/L	300-899	488,1	91
Pb ppm	0,044-0,064	0,053	7	TVS mg/L	109-474	247,0	91
Cd ppm	>0,0005		7	TDS mg/L	407-760	530,0	91
Mn ppm	0,168-0,276	0,240	7	FDS mg/L	254-401	305,0	91
BOD ₅ mg/L	110-164	132	7	VDS mg/L	91-442	224,7	91
COD mg/L	190-294	197	197	TSS mg/L	48-434	198,0	91
Cl ₂ ppm	0,011-0,076	0,05	7	FSS mg/L	44-403	175,7	91
				VSS mg/L	4-50	22,9	91

Sumber : Hasil analisis lab. dari air limbah influent

Dari tabel 1 dapat dilihat unsur-unsur pendukung dan pekondisi pertumbuhan biosolid, yaitu

- Unsur vitamin sebagai Fe, Zn, Cr, Pb, Cd dan Mn. Kriteria kehadiran unsur tersebut secara kuantitatif belum ada informasi. Namun menurut Benefield et al (1980), kehadiran unsur unsur tersebut dalam konsentrasi "trace" sudah mencukupi.
- Unsur nutrien TN dan TP, secara praktis kehadirannya mempunyai kriteria minimal, BOD₅:TN:TP = 1:0,05:0,01 (Metcalf&Eddy, 1991). Dari tabel 1 dapat dilihat BOD₅ rata-rata:TN rata-rata:TP rata-rata adalah 1:0,16:0,0123. Dengan demikian nutrien yang terkandung dalam air limbah cukup untuk mendukung pertumbuhan dan kehidupan mikroorganisme.
- parameter kualitas air pekondisi yaitu, suhu dan pH. Suhu air yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme adalah 15 - 32°C (Grady et al, 1980). Dari tabel 1, suhu berkisar antara 24-28,8°C, dengan demikian suhu air limbah yang digunakan untuk penelitian ini diperkirakan tidak mengganggu operasi.

Sedangkan pH dari tabel 1 mempunyai harga berkisar antara 8,71-11,27, atau cenderung ke arah basa. Menurut Wilkimson (1975), pH basa akan memberi suasana pertumbuhan dan kehidupan bakteri yang baik. Dan dalam kultur suspensi (*suspended growth*) seperti dalam penelitian ini, pertumbuhan bakteri sangat diharapkan, sehingga dalam operasinya, kejadian "bulking" oleh kehadiran fungi dengan filamennya tidak terjadi.

-Unsur racun (toxic), dalam penelitian ini unsur racun yang dicurigai akan mengganggu kultur mikroorganisme adalah chlorine (Cl_2). Dari tabel 1, Cl_2 dapat dikatakan kecil sekali dan diperkirakan akan hilang dengan adanya aerasi di tangki kontak maupun di tangki stabilisasi.

3.2. Perbandingan Antara Biomassa Di Tangki Kontak Dengan Biomassa Di Tangki Stabilisasi

Perbandingan antara biomassa di tangki kontak dengan stabilisasi dinyatakan dengan α . Metode menentukan α telah diuraikan dalam metode dan bahan, dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel 2.

Tabel 2. Harga α Pada Setiap Kondisi Operasi

θ_c hari	Vc=3l			Vc=2l
	Vs=2l	Vs=4l	Vs=5l	Vs=4l
	α	α	α	α
46	0,434	0,282	0,216	0,184
46	0,436	0,284	0,217	0,187
46	0,434	0,280	0,216	0,185
30	0,428	0,278	0,217	0,185
30	0,427	0,276	0,216	0,186
30	0,428	0,278	0,218	0,185
16	0,432	0,281	0,218	0,186
16	0,434	0,276	0,218	0,186
16	0,434	0,279	0,217	0,185
10	0,434	0,281	0,220	0,187
10	0,434	0,280	0,223	0,184
10	0,432	0,279	0,229	0,187

θ_c hari	Vc=3l			Vc=2l
	Vs=2l	Vs=4l	Vs=5l	Vs=4l
	α	α	α	α
8	0,431	0,278	0,221	0,118
8	0,430	0,269	0,221	0,186
8	0,432	0,281	0,220	0,185
6	0,427	0,268	0,223	0,189
6	0,428	0,278	0,224	0,189
6	0,434	0,284	0,223	0,191
4	0,432	0,280	0,227	
4	0,431	0,276	0,224	
4	0,430	0,278	0,229	
rata-rata	0,431	0,278	0,221	0,186
Sd	0,002	0,004	0,004	0,002

Dari tabel 2 dapat dilihat, pada setiap kombinasi Vc:Vs mempunyai standard deviasi (Sd) sangat kecil, yaitu untuk Vc:Vs=31:21 nilai Sd=0,002, Vc:Vs=31:41 nilai Sd=0,004, untuk Vc:Vs=31:51 nilai Sd=0,004 dan untuk Vc:Vs=21:41 nilai Sd=0,002. Ini menunjukkan bahwa, harga α dapat dikatakan konstan pada setiap kombinasi Vc:Vs, walaupun umur lumpur berubah. Dari tabel 2 juga dapat dilihat, setiap dilakukan perubahan kombinasi Vc:Vs, maka harga α rata-rata juga merubah. Yaitu pada Vc:Vs=31;21 harga α rata-rata 0,431, Vc:Vs:31;41 harga α rata-rata 0,278, Vc:Vs:31:51 harga α rata-rata 0,221 dan pada Vc:Vs=21:4L harga α rata-rata 0,186. Perubahan tersebut terjadi karena penurunan $\alpha = [Vc.XC]/[Vc.Xc+Vs.Xs]$, sehingga apabila Vc dan Vs berubah maka harga α berubah pula. Seperti pada Ve yang sama (31) dan Vs diubah dari 2,4,dan 5. Maka harga α berubah secara terbalik, yaitu dari harga besar ke kecil. Sedangkan pada Vs yang sama (41) dan Vc diubah dari besar ke kecil (31 ke 21), maka harga α juga berubah dari besar ke kecil.

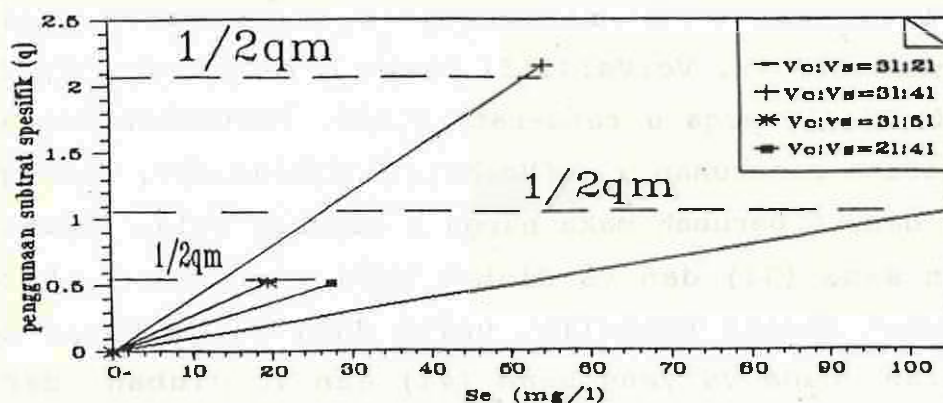
3.3. Parameter Model Kenetik

Dengan metode yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diperoleh parameter model kenetika proses kontak stabilisasi, yaitu seperti dalam tabel 3.

Tabel 3. Harga Parameter Kenetika

parameter	Vc=31			Vc=21
	Vs=21	Vs=41	Vs=51	Vs=41
Kd	0,1703	0,0400	0,0377	0,0370
Yr	0,9163	0,5041	0,9931	0,9194
Q _M	2,1240	4,3215	1,5694	1,3452
K _s	105,3802	54,0903	19,4962	27,4598

Parameter-parameter pada tabel 3 adalah indikator unjuk kerja biosolid yang ada di dalam sistem proses kontak stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk parameter q_m dan K_s , menunjukkan kemampuan biomassa menggunakan substrat BOD yang masuk ke dalam tangki kontak. Dan untuk membahas parameter tersebut maka harganya dapat digambarkan pada gambar 4.



Gambar 4 hubungan Antara q dan K_s

Dari gambar 4 dapat dilihat, perbedaan ekstrem terjadi pada kurva yang dibentuk oleh kombinasi $V_c:V_s=31:21$ dan kombinasi $V_c:V_s=31:41$. Pada $V_c:V_s=31:21$ kurva untuk mencapai q_m sangat landai, dan kurva kombinasi $V_c:V_s=31:41$ sangat curam. Ini menunjukkan penggunaan substrat spesifik $q = [(ds/dt)u/(x)]$ pada $V_c:V_s=31:21$ sangat lama untuk mencapai q_m dibandingkan dengan pada kombinasi $V_c:V_s=31:41$. Demikian pula dengan kurva yang dibentuk oleh kombinasi $V_c:V_s=31:51$ dan $V_c:V_s=21:41$ yang kedudukannya ditengah kurva ekstrem tersebut.

Pembahasan di atas juga didukung dengan harga parameter Y_T dan K_d pada kombinasi V_c dan V_s yang telah ditetapkan. Dari penurunan dengan menggunakan prinsip neraca massa pada gambar 1

dan kinetika yang digunakan di dalam penelitian ini, dapat diperoleh hubungan antara penggunaan substrat spesifik dengan Y_T dan K_d pada umur lumpur α tertentu. Yaitu $q = [(Y_T \cdot \alpha)] / [(1/\theta_c) + K_d]$.

Misalkan diambil harga $\theta_c = 10$ hari), dan dengan memasukkan parameter Y_T , K_d , dan rata-rata harga α dari setiap kombinasi $V_c:V_s$ yang telah ditetapkan. Maka akan diperoleh harga θ untuk kombinasi $V_c:V_s=3l:2l$ nilai $q=0,0684$, $V_c:V_s=3l:4l$ nilai $q=0,999$, $V_c:V_s=3l:5l$ nilai $q=0,627$ dan untuk kombinasi $V_c:V_s=2l:4l$ nilai $q=0,801$. Dari perhitungan pada V_c yang sama, yaitu sebesar 3 l, ternyata kemampuan biomassa dalam penggunaan substrat paling tinggi adalah pada $V_c=4l$. Dan bila V_s diubah menjadi lebih besar yaitu $V_s = 5 l$, q menjadi turun. Demikian juga bila V_s diperkecilkan menjadi 2 l, maka q juga turun.

Hal tersebut terjadi karena anggapan yang diterapkan pada pemodelan ini. Dimana di dalam operasi penggunaan substrat dapat diterangkan sebagai berikut. Kehadiran biomassa di tangki kontak diharapkan akan mendekomposisi BOD terlarut dengan cepat dan menyerap (adsorpsi) BOD partikulat. Kemudian setelah biomassa dipindahkan ke dalam tangki stabilisasi, biomassa tersebut diharapkan meneruskan pekerjaannya, yaitu melarutkan BOD partikulat teradsorpsi dengan cara proses hidrolisis. Dan setelah proses pelarutan oleh biomassa di tangki stabilisasi selesai, biomassa dialirkan kembali ke dalam tangki kontak untuk mulai bekerja kembali, demikian seterusnya. Dengan demikian kehadiran biomassa di tangki kontak, diharapkan biomassa yang sudah siap kerja. Sehingga dengan cara yang demikian, diharapkan akan mendapatkan efisiensi removal BOD yang tinggi.

Pemisahan kerja biomassa dalam penggunaan substrat pada dua tangki tersebut, mempunyai konsekuensi pada penentuan volume tangki kontak dan stabilisasi yang tepat. Seperti pada kombinasi $V_c:V_s=3l:2l$, diperkirakan waktu yang tersedia pada volume $V_s=2l$

tidak cukup, sehingga biomassa yang hadir kembali ke dalam tangki kontak masih belum selesai mehidrolisis BOD partikulat (biomassa belum siap kerja), dan ini menyebabkan harga q rendah. Lain halnya pada $V_c:V_s=3l:4l$, kombinasi ini diperkirakan mampu mengantisipasi rangkaian proses di tangki kontak dan di tangki stabilisasi, sehingga harga q tinggi. Untuk kombinasi $V_c:V_s=2l:4l$ walaupun V_c diperkecil, ternyata harga q masih cukup tinggi. Ini berarti waktu pada $V_c = 2 l$ diperkirakan masih cukup memberi kesempatan biomassa untuk melakukan dekomposisi BOD terlarut dan penyerapan (adsorpsi) BOD partikulat. Sedangkan pada kombinasi $V_c:V_s:3l:5l$, waktu yang ada pada $V_s = 5 l$ diperkirakan berlebihan, sehingga BOD partikulat yang terhidrolisis masih sempat didekomposisikan di tangki stabilisasi. Hal tersebut menyebabkan biosolid yang mengalir dari tangki stabilisasi ke dalam tangki kontak dapat dikatakan sudah agak kenyang, dan ini akan mengurangi kerakusan biomassa dalam mendekomposisikan BOD terlarut dalam tangki kontak (harga q menjadi kecil).

3.4. Model Kinetika Kuantitas Biomassa di Tangki Kontak dan Tangki Stabilisasi

Dengan telah diperolehnya parameter model kinetika proses kontak stabilisasi skala lab. di dalam mengolah air limbah industri tekstil, maka dapat disusun model dari kuantitas biomassa yang ada di dalam tangki kontak dan tangki stabilisasi. Model tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.

Tabel 4. Model Kuantitas Biomassa di Tangki Kontak dan Tangki Stabilisasi

Kombinasi Vc: Vs	α	Model
3 L : 2 L	0,431	$X_c = [0,3949.Q.\theta_c.(Sc-Sc)]/[V_c.(1+\theta_c-0,1703)]$ $X_s = [1/0,431]-1][V_c/V_s].X_c$
3 L : 4 L	0,278	$X_c = [0,1401.Q.\theta_c.(Sc-Sc)]/[V_c.(1+\theta_c-0,04002)]$ $X_s = [1/0,0278]-1][V_c/V_s].X_c$
3 L : 5 L	0,221	$X_c = [0,2195.Q.\theta_c.(Sc-Sc)]/[V_c.(1+\theta_c-0,03766)]$ $X_s = [1/0,221]-1][V_c/V_s].X_c$
2 L : 5 L	0,186	$X_c = [0,1710.Q.\theta_c.(Sc-Sc)]/[V_c.(1+\theta_c-0,03703)]$ $X_s = [1/0,186]-1][V_c/V_s].X_c$

Sedangkan penggambaran model dari tabel 4 yang dibandingkan dengan hasil observasi, dapat dilihat dalam gambar 5 dan gambar 6. Dimana di dalam penggambaran model tersebut, nilai Q, θ_c , Vc, dan Vs sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan.

Dari gambar 5 dan gambar 6 secara visual dapat dilihat, hasil pemodelan X_e dan X_s mempunyai kecenderungan yang mirip dengan X_c dan X_s hasil observasi. Namun demikian, pada pengujian kemiripan dengan cara seperti yang telah diuraikan dalam bahan dan metode, nilai kesalahan model terhadap observasi pada setiap kondisi operasi adalah seperti dalam tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kesalahan Model terhadap Observasi Biomassa

Kombinasi	X	$\bar{E}(\%)$	Sd $\bar{E}$
3 L : 2 L	X_c	11,69	9,776
	X_s	11,69	9,776
3 L : 4 L	X_c	8,39	6,510
	X_s	8,39	6,510
3 L : 5 L	X_c	2,67	4,416
	X_s	2,67	4,416
2 L : 5 L	X_c	5,64	4,299
	X_s	5,64	4,299

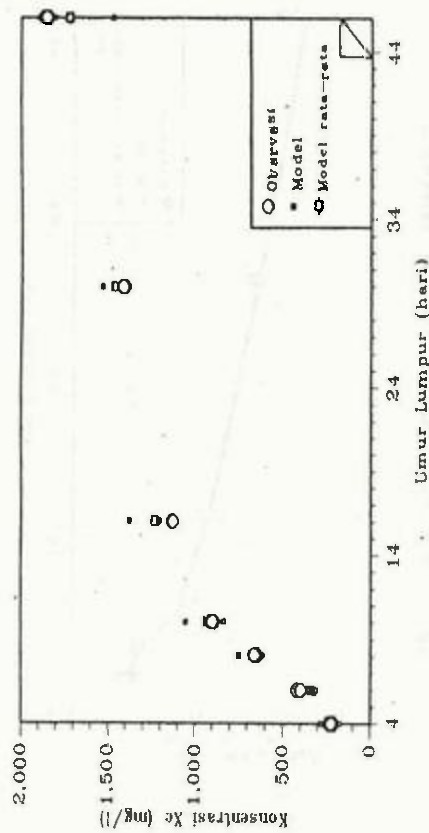
Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa, nilai kesalahan model terhadap observasi tertinggi adalah pada kombinasi $V_c:V_s=31:21$ yaitu 11,69 %, nilai tersebut diatas 10%. Sedangkan nilai kesalahan model terhadap hasil observasi dari kombinasi $V_c:V_s$ lainnya, mempunyai nilai kurang dari 10%. Dengan demikian model yang mirip dengan hasil observasi kuantitas biomassa di tangki kontak dan tangki stabilisasi setiap kondisi operasi, adalah pada kombinasi $V_c:V_s=31:41$, $V_c:V_s=31:51$, dan $V_c:V_s=21:41$.

Meskipun demikian seperti dibahas di dalam sub bab parameter model kinetika, bahwa biomassa pada kombinasi $V_c:V_s$ yang telah ditetapkan mempunyai kinerja dalam removal BOD yang spesifik. Dimana tinggi dan rendahnya kinerja tersebut, tergantung keterdekatan kombinasi $V_c:V_s$ pada prinsip rangkaian proses penggunaan substrat dari proses kontak stabilisasi yang telah diuraikan sebelumnya. Dengan demikian, walaupun model di atas mirip dengan observasi, hasil observasi mengikuti fungsi matematis dari model yang tersusun, namun apabila kehadiran biomassa dari tangki stabilisasi ke dalam tangki kontak tidak mempunyai kinerja seperti yang diharapkan (tidak siap kerja). Maka dalam pemodelan kinetika kemampuan removal BOD, dapat diharapkan model tersebut tidak mirip dengan observasi, atau hasil observasi tidak mengikuti fungsi matematis model kinetika yang tersusun.

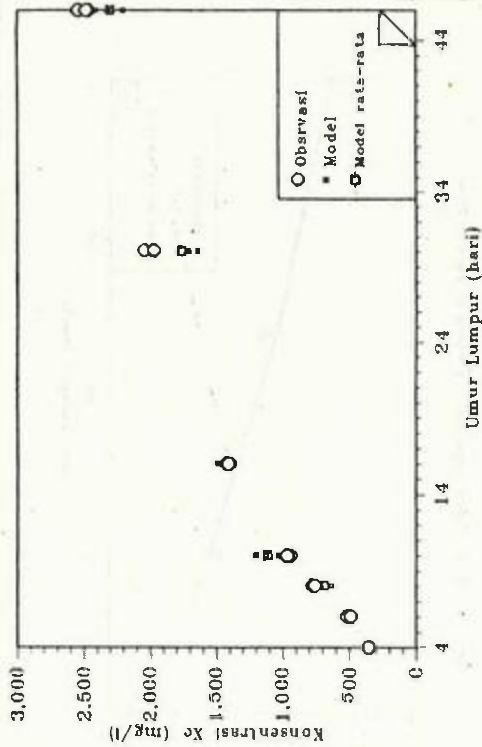
3.5. Model Kinetika Kemampuan mengolah (removal)

Hasil penyusunan model kinetika kemampuan removal BOD proses kontak stabilisasi skala lab, dalam mengolah air limbah industri tekstil, dapat dilihat dalam tabel 6.

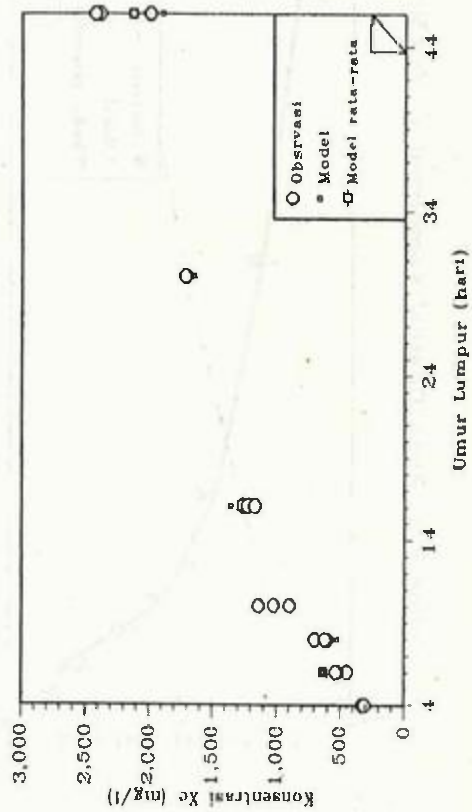
Gambar 5.A. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$:2



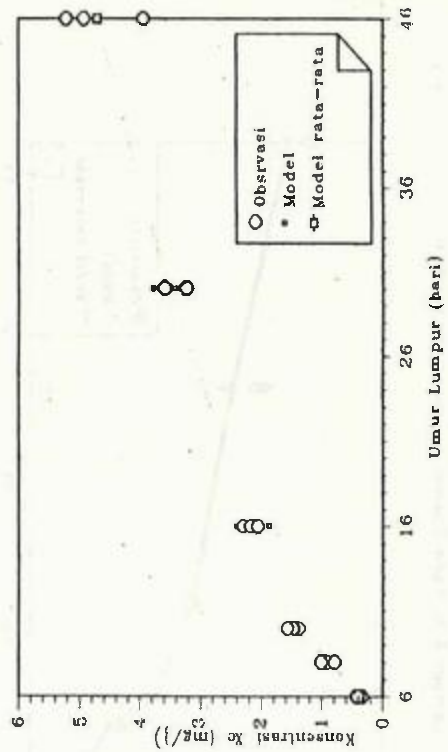
Gambar 5.B. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$:4



Gambar 5.C. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$:5

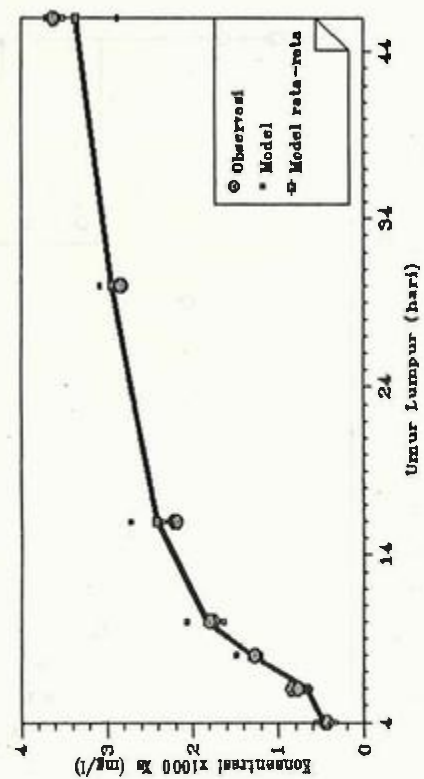


Gambar 5.D. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=2:1$:4

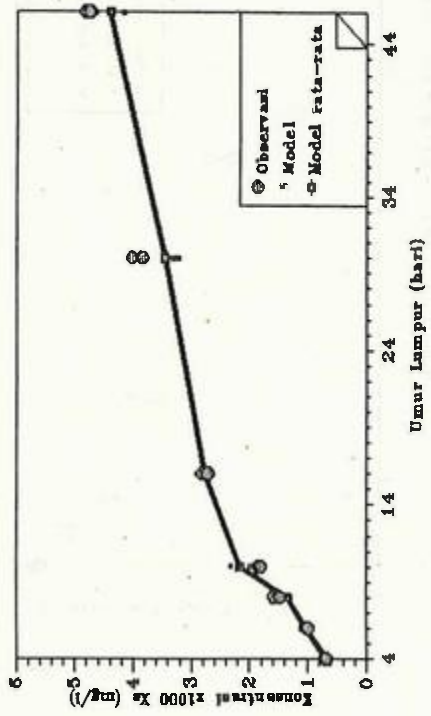


Gambar 5. Hasil Observasi dan Pemodelan X_c

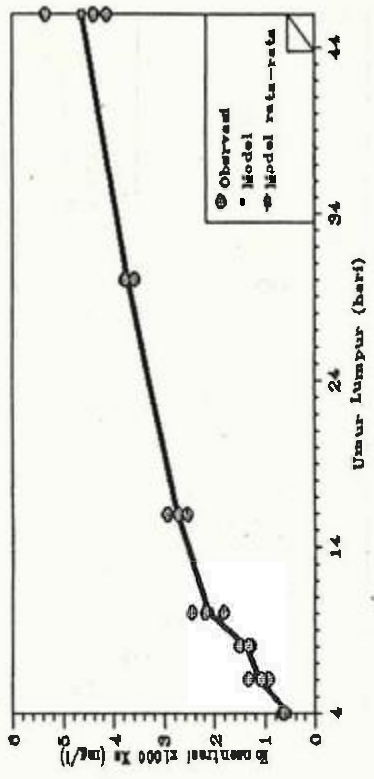
Gambar 6 A. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$



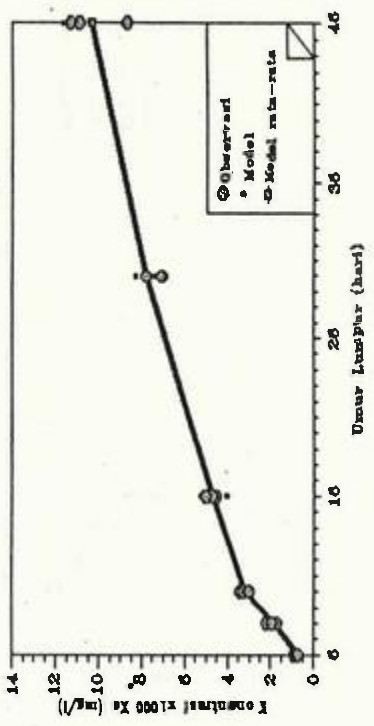
Gambar 6 B. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$



Gambar 6 C. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:1$



Gambar 6 D. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=2:1$



Gambar 6. Hasil Observasi Dan Pemodelan

Tabel 6. Model Kinetika Kemampuan Removal BOD Proses Kontak Stabilisasi Skala Lab. Dalam mengolah Air Limbah Industri Tekstil

Kombinasi Vc: Vs	α	Model
3 L : 2 L	0,431	$\eta = \left(1 - \frac{105,3802[(1/\theta_c)+0,1703]}{Sc[0,8388-(1/\theta_c)-0,1703]} \right) \times 100 \%$
3 L : 4 L	0,278	$\eta = \left(1 - \frac{54,0903[(1/\theta_c)+0,04002]}{Sc[0,6056-(1/\theta_c)-0,04002]} \right) \times 100 \%$
3 L : 5 L	0,221	$\eta = \left(1 - \frac{19,4962[(1/\theta_c)+0,03766]}{Sc[0,3444-(1/\theta_c)-0,03766]} \right) \times 100 \%$
2 L : 4 L	0,186	$\eta = \left(1 - \frac{27,4598[(1/\theta_c)+0,03703]}{Sc[0,2300-(1/\theta_c)-0,03703]} \right) \times 100 \%$

Sedangkan penggambaran dari model dari tabel 6 yang dibandingkan dengan observasi, dapat dilihat dalam gambar 7. Dimana di dalam penggambaran model tersebut, θ_c sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan, dan influent S_0 sama dengan hasil observasi.

Dari gambar 7 dapat dilihat, pada kombinasi Vc:Vs=31:21 (gambar 7A) dari umur lumpur 4 hari hingga 10 hari, kecenderungan model tidak mirip dengan hasil observasi. Namun setelah umur lumpur 16 hari hingga 46 hari hasil pemodelan mempunyai kecenderungan yang mirip dengan hasil observasi. Untuk kombinasi Vc:Vs=31:5L (gambar 7C), hasil pemodelan pada umur lumpur 4 hari tidak mirip dengan hasil observasi, tetapi setelah pada umur lumpur 6 hingga 46 hari, hasil pemodelan mempunyai kecenderungan dekat dengan hasil observasi. Demikian pula pada kombinasi Vc:Vs=21:41 (gambar 7D), pada umur lumpur 10 hari hingga 46 hari hasil pemodelan mirip dengan hasil observasi, tetapi setelah umur lumpur 6 hari sampai 8 hari, hasil pemodelan tidak mirip lagi. Sedangkan pada kombinasi Vc:Vs=31:41, (gambar 7B) hasil pemodelan mempunyai kecenderungan

derungan yang mirip dengan hasil observasi, baik pada operasi umur lumpur pendek maupun panjang.

Demikian pula dengan hasil perhitungan nilai kesalahan (E) hasil pemodelan terhadap observasi, dimana hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dalam tabel 7.

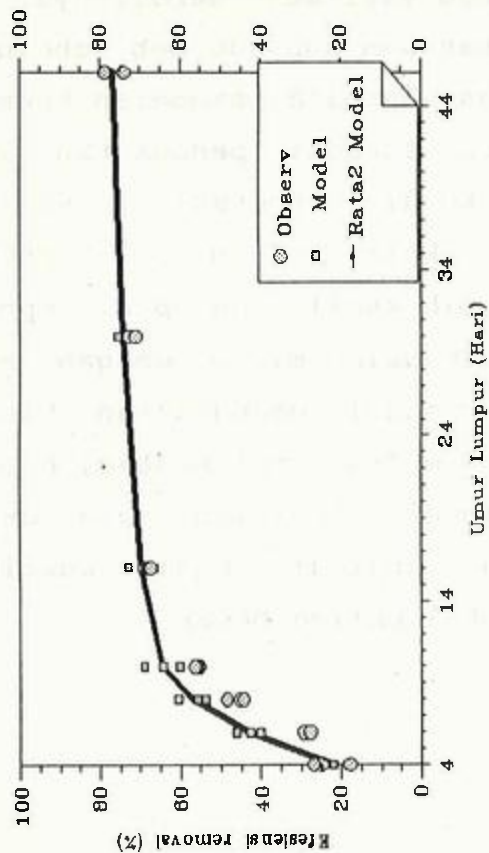
Tabel 7. Nilai Kesalahan Model Kinetika Kemampuan Removal BOD Terhadap Observasi

Kombinasi Vc: Vs	E %	Sd E %
3 L: 2 L	15,0	16,5
3 L: 4 L	2,9	2,6
3 L: 5 L	9,6	20,2
2 L: 4 L	16,6	23,8

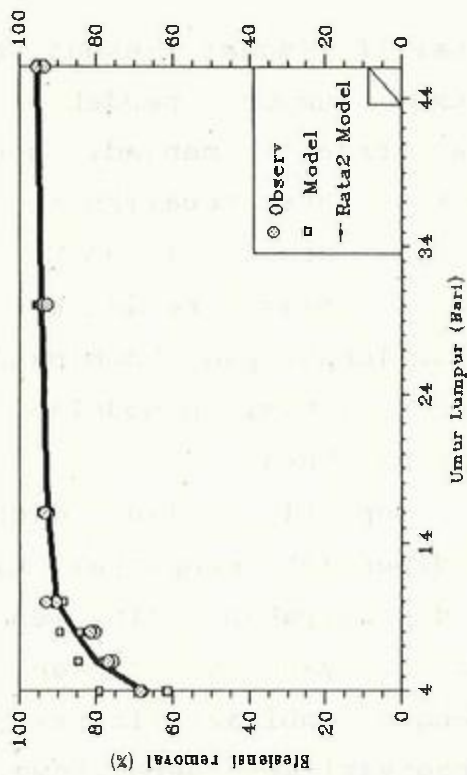
Dari tabel 7 dapat dilihat, kondisi operasi pada kombinasi Vc:Vs=3l:2l dan Vc:Vs=2l:4l, model mempunyai kesalahan terhadap observasi lebih besar dari 10 %.Besarnya nilai kesalahan tersebut disebabkan pada ketidak sesuaian pada kondisi umur lumpur pendek. Sedangkan pada kombinasi Vc:Vs=3l:4l dan Vc:Vs=3l:5l nilai kesalah rata-rata terhadap observasi kurang dari 10%.

Menurut kenyataan di atas, dimana pada kombinasi Vc:Vs=3l:2l dan Vc:Vs= 2l:4l pada umur lumpur panjang sesuai dengan observasi, dan pada umur lumpur pendek menjauhi dari observasi.Hal ini dapat diterangkan dari pembahasan sebelumnya. Pada pembahasan mengenai kuantitas biomassa, model mengikuti hasil observasi atau sebaliknya, ini berarti kuantitas biomassa sesuai dengan yang diharapkan. Namun pada pembahasan mengenai parameter kinetika model, telah diperkirakan bahwa parameter model pada kombinasi tersebut, biomassa kurang menunjukkan kinerja yang tinggi. Maka dapat dilihat pada kombinasi diatas, semasa umur lumpur panjang dimana pembuangan biomassa (lumpur) sedikit dan biomassa di sistem banyak, maka kinerja biomassa

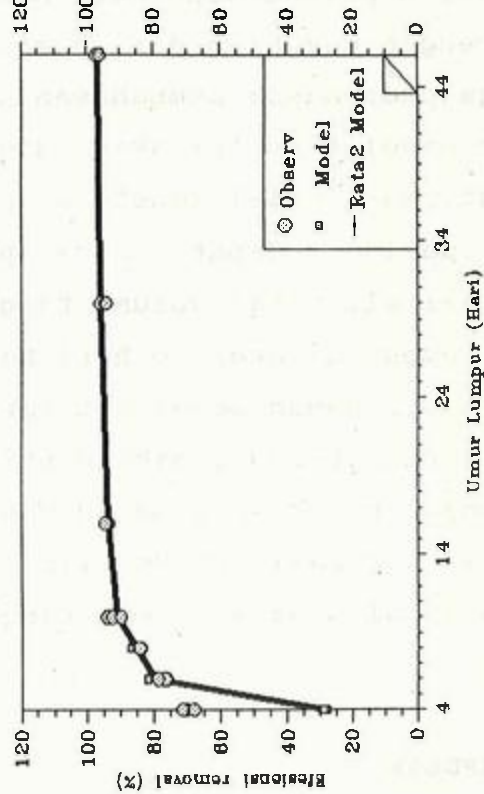
Gambar 7 A. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:21$



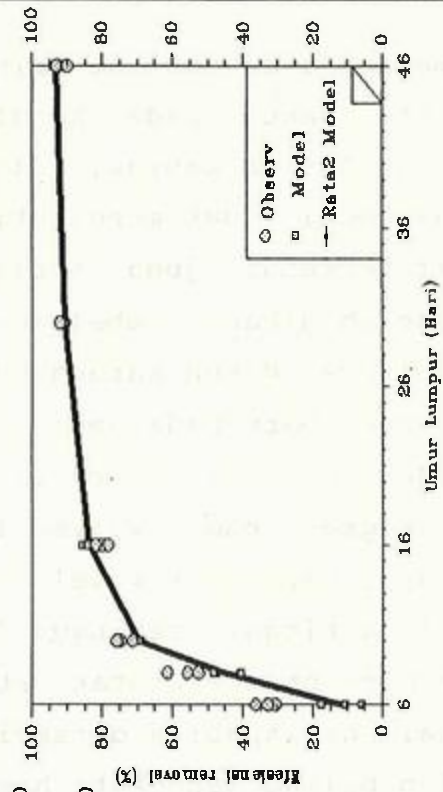
Gambar 7 B. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:41$



Gambar 7 C. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=3:51$



Gambar 7 D. Pada Operasi Kombinasi $V_c:V_s=2:41$



Gambar 7. Hasil Observasi Dan Penodelan Efisiensi Removal BODs

dalam menggunakan substrat belum sensitif (model sesuai dengan observasi), namun pada kondisi umur lumpur pendek dimana pembuangan lumpur banyak, biomassa tersebut menjadi sensitif sehingga model tidak mengikuti observasi atau sebaliknya.

Hal tersebut juga terlihat pada kombinasi $V_c:V_s=31:51$, dimana telah dibahas sebelumnya bahwa, biomassa telah berkurang daya kerjanya. Namun karena kuantitas lumpur pada kombinasi ini tinggi, maka baru pada umur lumpur 4 hari hasil pemodelan tidak sesuai dengan hasil observasi atau sebaliknya.

Sedangkan pada $V_c:V_s=31:41$, seperti telah diuraikan sebelumnya, parameter model yang diperoleh mempunyai kinerja yang paling tinggi, sehingga dapat diperkirakan paling mendekati prinsip dari proses kontak stabilisasi yang diharapkan. Maka dalam hal ini, apabila dibanding dengan kombinasi lainnya, hasil pemodelan paling mendekati hasil observasi atau sebaliknya.

Dengan demikian dari hasil pembahasan sub-sub bab sebelumnya hingga pada hasil pembahasan di atas, apabila pemodelan kinetika dalam penelitian ini akan digunakan sebagai pendekatan lebih lanjut. Maka model kinetika pada kondisi operasi $V_c:V_s=31:41$ yang paling dapat diharapkan. Walaupun pada kombinasi $V_c:V_s=21:41$, total volume tangki lebih kecil dan pada operasi umur lumpur di atas 10 hari hasil pemodelan mirip dengan hasil observasi. Namun mengingat parameter model menunjukkan kinerja yang kurang tinggi, maka nantinya di dalam implementasi operasi mempunyai resiko kegagalan yang tinggi. Demikian pula dengan kondisi operasi $V_c:V_s=31:21$, dan apalagi pada kombinasi $V_c:V_s=31:51$ dimana volume tangki total paling besar.

KESIMPULAN

- Dari hasil monitoring dan analisis laboratorium, kualitas air

limbah industri tekstil yang digunakan dalam percobaan ini, telah mengandung unsur-unsur yang mendukung pertumbuhan dan kehidupan biomassa dalam percobaan ini.

- Dari hasil pengukuran konsentrasi biomassa di tangki kontak dan stabilisasi pada setiap kondisi operasi, nilai α tidak dipengaruhi oleh variasi umur lumpur, tetapi dipengaruhi oleh perubahan kombinasi $V_c:V_s$.
- Dari analisis hasil observasi, nilai parameter kinetika K_d , Y_t , Q_m , dan K_s pada kombinasi $V_c:V_s=3 \text{ 1:2 1}$ dan $V_c:V_s=3 \text{ 1:5 1}$ menunjukkan kemampuan penggunaan substrat kurang tinggi, apabila dibandingkan dengan kombinasi $V_c:V_s=3 \text{ 1:4 1}$ dan $V_c:V_s=2 \text{ 1:4 1}$.
- Dari hasil pemodelan kinetika X_c dan X_s , ternyata hasil pemodelan pada semua kombinasi $V_c:V_s$ yang telah ditetapkan sesuai dengan hasil observasi.

Dari hasil pemodelan kinetika kemampuan BOD removal, hasil pemodelan pada kombinasi $V_c:V_s=3 \text{ 1:2 1}$ dan $V_c:V_s=2 \text{ 1:4 1}$ tidak sesuai dengan hasil observasi, akan tetapi pada kombinasi $V_c:V_s=3 \text{ 1:4 1}$ dan $V_c:V_s=3 \text{ 1:5 1}$ sesuai dengan hasil observasi.

- Dengan pertimbangan kesesuaian model terhadap observasi dan volume total $V_c:V_s$, hasil pemodelan pada kombinasi $V_c:V_s=3 \text{ 1:4 1}$, dapat digunakan sebagai pendekatan lebih lanjut dalam desain pengolahan air limbah tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Benefield, D.L. & Randal, C.W. 1980. **Biological Process Design for Wastewater Treatment**. Printice-Hall. Inc Englewood Cliffs. 513 pp.
2. Boon, A.G. 1969. **Treatment of Settled Domistic Sewage at Hight Rate**. Journal : Effluent and Water Treatment. Feb : 83-88.
3. Grady. Jr & Lim. C.H. 1980. **Biological WasteWater Treatment, Theory and Application**. Dekker. New York. 963 pp.
4. Jones, P.H. 1988. **Mathematical Model for Contact Stabilization Modification of Activated Sludge Process**. Journal : W.P.C.F. Vol 50 : 112-117.
5. Jenkins, D. & Orthon, D. 1972. **The Mecanism and Design of The Contact Stabilization Activated Sludge Process**. In Proceeding 6th. Ind. Conf. on Water Pollution Research. Jerusalem. 353-363.
6. Kreyszig, E. 1988. **Advanced Engineering Mathematic**. John Wiley & Sons. NeW York. 1294 pp.
7. Romalho, R.S. 1977. **Introduction To Wastewater Treatment Process**. Academic Press. NeW York. 368 pp.