

MODIFIKASI MODEL RENKO UNTUK MEMPREDIKSI POLA PENGENDAPAN LUMPUR AKTIF DI SEDIMENTASI KEDUA

RENKO MODEL MODIFICATION TO PREDICT ACTIVATED SLUDGE SETTLEMENT PATTERN IN SECONDARY CLARIFIER

Ignasius Dwi Atmana Sutapa dan Yongki Riansoni
Pusat Penelitian Limnologi-LIPI, Kompleks LIPI-Cibinong
email: IgnasiusSutapa@chemist.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model pola pengendapan lumpur aktif terbaik di sedimentasi kedua pada sistem pengolahan limbah cair industri tekstil di Indonesia. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sampel lumpur aktif dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Data diperoleh dengan melakukan pengukuran pengendapan volume lumpur selama 2 jam dalam gelas ukur 1000 ml pada konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi awal lumpur aktif diperoleh dengan kisaran 4000 mg/L. Konsentrasi oksigen terlarut dikembalikan pada level semula antara 1-2 mg/L. Pengukuran dicatat sesaat setelah diambil dari bak aerasi. Untuk memperoleh konsentrasi yang lebih rendah, sebagian lumpur digantikan oleh supernatan dari outlet pembuangan kedua secara seimbang. Prosedur ini dilakukan pada suhu ruang sampai 10 kurva pengendapan terbentuk. Persamaan model Renko dibuat dengan data tinggi lumpur yang mengendap. Model pola pengendapan lumpur aktif diperoleh dari fungsi persamaan tinggi pengendapan lapisan lumpur terhadap waktu. Konstanta parameter pola pengendapan yang diperoleh secara berurutan adalah: α (0,0039), β (-0,3346), C (0,0028). Grafik model memperlihatkan bentuk pola pengendapan yang mampu mendekati kondisi eksperimen, yang dibuktikan dari hasil validasi model dengan nilai *Mean Square Error* (MSE) rendah, yaitu: 0,008. Nilai MSE tersebut menunjukkan model mampu menggambarkan perilaku eksperimen dengan tingkat perbedaan yang rendah. Hasil ini jelas bermanfaat untuk meningkatkan efektifitas sistem pengolahan lumpur aktif dalam memprediksi pola pengendapan lumpur aktif di sedimentasi kedua.

Kata kunci : lumpur aktif, model Renko, pola pengendapan, sedimentasi kedua

Abstract

The aim of this research is to gain the best activated sludge settling models in the final sedimentation. This is important for describing settling behavior of tropical Indonesian sludge. Sample sludge for this research was derived from the textile wastewater treatment. Experimental data were collected from batch settling test with 1000 ml cylinder glass. The test record complete batch sludge settling curves with initial concentration of about 4000 mg/L. To set up an experiment at lower sludge concentration, part of the sludge in the device was subsequently replaced by supernatant and a new settling curve was recorded. This procedure repeated until ten settling curves were recorded. The storage and settling experiments were performed at room temperature. In order to build appropriate models structure, all experimental settling data was converted. This experiment used the basic formulation models proposed by Renko, which identified settling of the sludge blanket interface as a function of time. This model described the relationship between settling sludge blanket interface and sludge concentration and settling time. Results of this research showed that these parameters were of α :0,0039; β :-0,3345; C :0,00028. The curves revealed that the models could follow the behavior of settling sludge. It proved with minimal MSE of 0,008. This value meant that the models had a high validity in explaining the experimental behavior. These results certainly beneficial for improving the wastewater treatment system for predicting sludge settling behavior in the secondary sedimentation process.

Keywords: activated sludge, Renko settling models, settling curves, secondary sedimentation

1. PENDAHULUAN

Tahapan pemisahan biomassa (lumpur) dengan supernatan dalam sedimentasi kedua merupakan salah satu tahap yang sangat penting dalam sistem pengolahan limbah cair lumpur aktif untuk

memperoleh air efluen akhir yang jernih (Abusam dan Keesman, 2002). Secara umum tahapan ini dilakukan dengan memanfaatkan fenomena pengendapan sederhana (gravitasi). Diyakini tahapan proses ini membentuk suatu pola secara kontinyu terhadap waktu. Dengan menggambarkan pola

pengendapan tersebut diharapkan mampu mempercepat penanggulangan apabila terjadi kondisi *bulking* dan terbawanya partikel lumpur (*carry over*) saat keluar dari bak sedimentasi kedua. Permasalahan ini bisa diatasi dengan membuat optimasi dan pemodelan terhadap pola pengendapan lumpur yang terbentuk untuk mengetahui perilaku proses data eksperimen dan pengaruh dari parameter operasional yang terlibat (Sreckovic dan Hall, 2000). Pemodelan ini mampu menirukan suatu gejala atau proses yang terjadi dan merupakan representasi dari kondisi aktual suatu sistem (James, 1994; Muhammadi *et al.*, 2001).

Pola pengendapan lumpur aktif mampu diidentifikasi apabila diketahui kecepatan pengendapan lumpur tersebut. Model yang banyak digunakan untuk menentukan hubungan kecepatan pengendapan zona lumpur pada berbagai konsentrasi adalah model Vesilind (1986) [persamaan 1] yang mengandung 2 parameter konstan, V_0 dan n . Untuk memperoleh parameter Vesilind dilakukan percobaan pengenceran yang lama, menghamburkan tenaga dan dihasilkan data yang menyebar (Vanderhasselt dan Vanrolleghem, 2000).

Beberapa pendekatan lain dilakukan untuk menghubungkan indeks volume lumpur (SVI, SSVI) dengan parameter V_0 dan n melalui fungsi empirik. Hubungan tersebut bisa diperoleh dengan mengambil data eksperimen yang banyak dari SVI dan parameter Vesilind. Akan tetapi hubungan tersebut masih dipertanyakan validitasnya dikarenakan kecepatan pengendapan zona lumpur dengan *stirrer* (V_z) dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tidak berhubungan dengan parameter Vesilind ataupun SVI (Vanderhasselt dan Vanrolleghem, 2000). Model lain yang digunakan untuk memprediksi kecepatan pengendapan lumpur adalah model yang diajukan oleh Takacs *et al* (1991). Model ini mampu mendeskripsikan konsentrasi yang rendah dengan lebih baik dibanding model Vesilind. Model Takacs sering disebut sebagai persamaan dua eksponensial (Renko, 1998). Kelemahan model ini adalah banyaknya parameter (5 parameter) yang diperoleh sehingga tidak praktis digunakan di lapangan. Penelitian lanjutan mengenai kecepatan pengendapan juga dilakukan oleh Renko (1998). Model ini mampu mengatasi kelemahan model Takacs dengan parameter yang lebih sedikit. Model Renko juga mampu mengidentifikasi hubungan antara SSVI dan kecepatan pengendapan zona.

$$V_s = V_0 e^{-nX}$$

dimana,

V_s : Kecepatan pengendapan zona ($m \cdot h^{-1}$)

V_0 : Kecepatan pengendapan maksimum ($m \cdot h^{-1}$)

n : Parameter Konstanta Vesilind ($m^3 \cdot kg^{-1}$)

X : Konsentrasi lumpur aktif ($m^{-3} \cdot kg$)

$$V_{sj} = V_0 e^{-r_h X_j^h} - V_0 e^{-r_p X_j^p}, \text{ dan } 0 \leq V_{sj} \leq V_0$$

dimana,

v_{sj} : Kecepatan pengendapan dari partikel padat pada layer j

V_0 : Kecepatan pengendapan maksimum

V_0' : Kecepatan pengendapan maksimum (praktis)

r_h, r_p : Parameter pengendapan Takacs yang menggambarkan pengendapan padatan

r_h : Parameter pengendapan Takacs yang berhubungan dengan komponen yang menghambat pengendapan.

r_p : Parameter pengendapan Takacs yang berhubungan dengan konsentrasi rendah dan komponen larutan yang lambat mengendap.

$$X^* = X_j - X_{\min}$$

X_j : Konsentrasi padatan di layer j

$$X_{\min} = f_{ns} x_{in}$$

x_{\min} : Konsentrasi padatan minimum yang dicapai di tiap layer

x_{in} : Konsentrasi padatan yang masuk sedimentasi kedua

f_{ns} : Fraksi yang tidak mengendap (*non-settleable*) dari x_{in}

$$h(t, h_0) = \frac{C(X^2 + \beta)h_0}{\alpha X} + \left(\frac{C(X^2 + \beta)h_0}{\alpha X} \right) e^{-t\alpha X / ((X^2 + \beta)h_0)}$$

dimana,

$h(t, h_0)$: Tinggi permukaan lumpur saat t (m)

h_0 : Tinggi awal permukaan lumpur (m)

t : Waktu (h)

X : Konsentrasi lumpur aktif ($m^{-3} \cdot kg$)

α, β, C : Parameter pengendapan lumpur aktif dengan satuan secara berurutan ($m \cdot h^{-1}$), ($m^{-6} \cdot kg^{-2}$), ($m^{-2} \cdot kg \cdot h^{-1}$)

Penelitian pada makalah ini lebih difokuskan pada pengembangan model Renko dengan menggunakan jenis lumpur limbah tekstil yang sampai saat ini belum banyak diketahui. Alasan pengambilan model ini adalah parameter model Renko yang lebih sedikit dan mampu menggambarkan konsentrasi yang rendah dengan lebih baik. Adapun yang membedakan penelitian ini dengan penelitian

Renko selain perbedaan jenis lumpur, juga metode pengambilan sampel yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan metode Renko sehingga lebih praktis digunakan di lapangan.

Sesuai dengan permasalahan yang dihadapi, maka penelitian ini bertujuan untuk merancang model pengendapan lumpur aktif di sedimentasi kedua pada sistem pengolahan limbah cair industri tekstil dengan parameter konsentrasi MLSS (*mixed liquor suspended solids*), dan ketinggian lumpur (h_0) yang mengendap terhadap waktu.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan mencatat secara penuh data kurva parameter pengendapan lumpur. konsentrasi oksigen terlarut dikembalikan pada level semula, untuk menjaga keseimbangan massa dalam lumpur aktif.

Parameter yang diukur

Parameter operasional yang diukur meliputi MLSS, SV 30 (*Sludge Volume 30*), ketinggian lumpur (h_0) dan waktu pengendapan. Penyimpanan lumpur dan pengukuran dilakukan pada suhu ruang. Prosedur pengukurannya dilakukan dengan metode standar APHA (1994).

Penentuan SV₃₀

SV₃₀ atau volume lumpur diukur dengan mengambil 1 L cairan lumpur aktif, dimasukkan dalam kerucut Imhoff. Setelah 30 menit diukur volume lumpur yang dapat mengendap (APHA, 1994).

Penentuan MLSS

MLSS atau bahan padat tersuspensi (mg/L) ditentukan berdasarkan metode gravimetri. Diambil 50 ml sampel limbah, kemudian disaring dengan kertas saring yang telah diketahui berat keringnya. Kertas saring dan filtrat dikeringkan dalam oven dengan temperatur 102°C selama 24 jam. Setelah beratnya konstan, kertas saring dan filtrat ditimbang untuk mengetahui berat keringnya. MLSS dihitung dengan menggunakan rumus APHA, 1994.

Penentuan Volume lumpur

Volume lumpur yang mengendap diukur dengan menggunakan gelas ukur 1000 ml dan *stop watch* untuk menghitung waktu pengendapannya. Konsentrasi yang lebih rendah diperoleh dengan mengambil 100 ml lumpur dalam gelas ukur dan kelipatannya digantikan oleh air supernatan dari

outlet pembuangan akhir sejumlah yang sama. Prosedur ini dilakukan terus sampai 10 kurva pengendapan terbentuk.

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap pola pengendapan dilakukan tiga kondisi yaitu kondisi normal (dihitung tanpa pengonsentrasian terlebih dahulu), kondisi perlakuan 1 (dihitung setelah dilakukan pengonsentrasian selama 1 jam) dan kondisi perlakuan 2 (dihitung setelah pengonsentrasian selama 2 jam).

Penentuan Ketinggian Lumpur

Untuk keperluan pembuatan model maka volume lumpur yang mengendap dikonversikan ke ketinggian dengan persamaan :

$$h = V / A$$

dimana,

h : Tinggi lumpur (m)

V : Volume yang mengendap (ml)

$A (\pi.r^2)$: Luas penampang tabung (m²)

Penurunan Persamaan Model

Tinggi pengendapan lapisan lumpur sebagai fungsi waktu dapat digambarkan dengan memodifikasi persamaan Renko, 1998.

$$\frac{V}{A} \left(t, \frac{V_0}{A} \right) = \frac{C(X^2 + \beta)h_0}{\alpha X} + \left(\frac{C(X^2 + \beta)h_0}{\alpha X} \right) e^{-\alpha X / ((X^2 + \beta)h_0)}$$

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk melihat apakah model mampu digunakan untuk menggambarkan hasil eksperimen. Verifikasi dilakukan dengan memasukkan data eksperimen ke dalam model Renko sehingga diperoleh parameter model baru untuk memprediksi pola pengendapan yang terbentuk.

Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengevaluasi apakah model yang telah dikembangkan mewakili kondisi sebenarnya. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan data eksperimen baru sehingga dapat diketahui apakah model masih relevan atau tidak. Alat ukur yang digunakan yaitu dengan melihat nilai MSE (*Mean Square Error*). MSE mampu menilai tingkat kesalahan yang dibuat dengan membandingkan rangkaian data model dan data eksperimen. Selain itu dilakukan juga uji kesamaan nilai tengah populasi (uji t) untuk melihat perbedaan antara data eksperimen dan model.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran awal parameter adalah konsentrasi awal 4.0 g/L, suhu 30° C, DO (*Dissolved Oksigen*) 1.82 dan pH 7.04. Dengan menggunakan persamaan [4], maka data volume yang mengendap dikonversi ke dalam ketinggian lumpur. Ketinggian lumpur yang mengendap terhadap waktu pengendapan pada setiap konsentrasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Verifikasi model

Berdasarkan persamaan [5] maka dilakukan optimasi terhadap data eksperimen untuk memperoleh parameter pengendapan dengan metode beda kuadrat terkecil (*least square method*). Hasil optimasi parameter pengendapan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil optimasi tersebut diperoleh persamaan modelnya sebagai berikut:

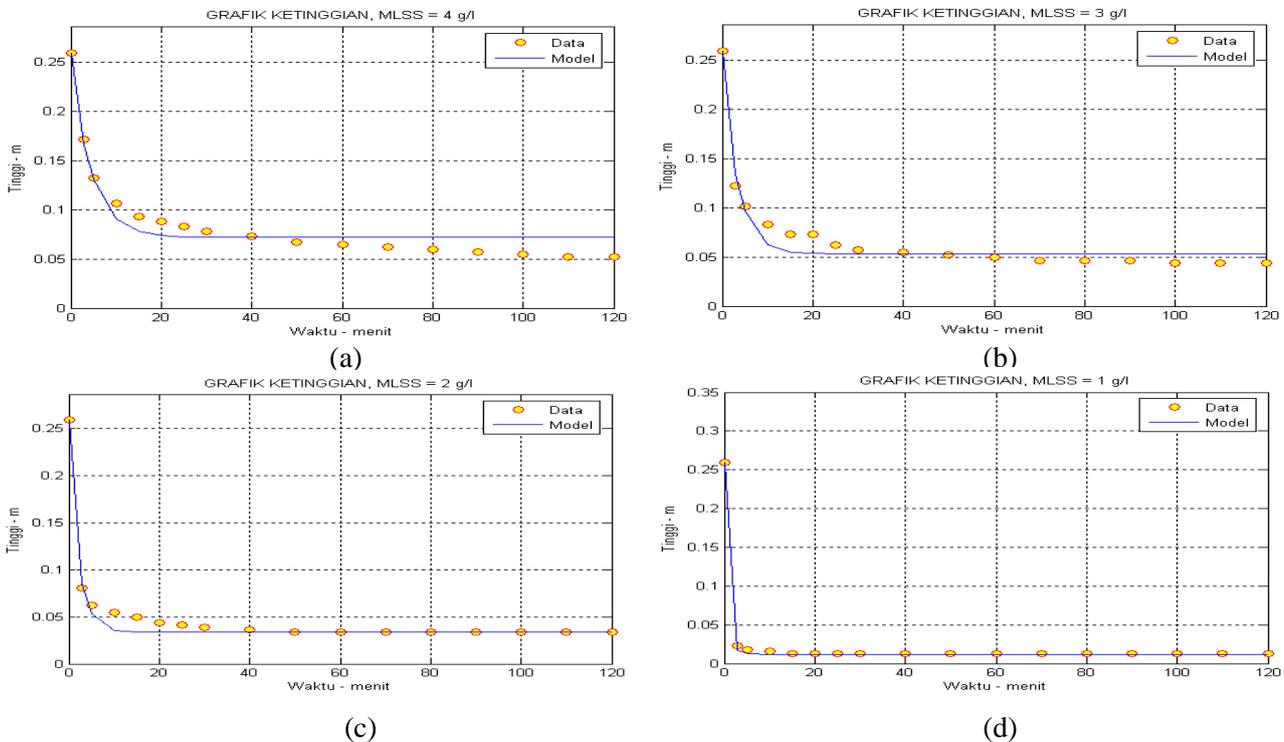
$$h(t, h_0) = \frac{2,8e^{-04}(X^2 - 0,3345)h_0}{0,00392X} + \left(\frac{2,8e^{-04}(X^2 - 0,3345)h_0}{0,00392X} \right) e^{-t,00392X / ((X^2 - 0,3345)h_0)}$$

Tabel 2. Hasil Optimasi Data Eksperimen Ketinggian Lumpur yang Mengendap

Parameter					
α	β	C	ho	Xmaks	MSE
00392	-0,3345	0,00028	0,25984	14,116	0,008

Pada konsentrasi 4,0 g/L model terlihat mengikuti pola data eksperimen sampai ketinggian lumpur sekitar 0,13 m pada fase zona pengendapan. Kemudian terpisah setelah masuk fase transisi. Pada menit ke 40 di kedua fase transisi keduanya kembali berimpit pada ketinggian sekitar 0,075 m, selanjutnya model mulai konstan dan data eksperimen mulai masuk ke dalam fase pemadatan sampai ketinggian 0,05 m di kedua waktu pengamatan. Pada konsentrasi 3,0 g/L, model mampu mendekati data eksperimen pada fase zona sampai ketinggian 0,1 m. Kemudian mulai terpisah saat masuk fase transisi dari menit ke 5 sampai ke 30, dan model mulai konstan ketika penurunan data eksperimen lumpur memasuki fase pemadatan.

Pada konsentrasi 2,0 g/L fase zona mampu dicapai sampai pada ketinggian 0,06 m dalam menit-menit awal. Kemudian fase transisi dicapai sampai menit ke 25 dan masuk fase pemadatan pada menit selanjutnya. Pada konsentrasi rendah yaitu 1,0 g/L, fase zona lebih panjang sampai < 0,05 m. Sementara pada fase transisi menjadi lebih pendek sampai menit ke 15. Selanjutnya model dan data eksperimen konstan pada saat memasuki fase pemadatan.



Gambar 2. Perbandingan Model dan Data Eksperimen Tinggi Lumpur yang Mengendap terhadap Waktu Pengendapan pada Setiap Konsentrasi (a). Konsentrasi MLSS 4,0 g/L (b). Konsentrasi MLSS 3,0 g/L (c). Konsentrasi MLSS 2,0 g/L, (d). Konsentrasi MLSS 1,0 g/L

Tabel 1. Ketinggian Pengendapan Lumpur terhadap Waktu Pengendapan pada Tiap Konsentrasi Pengamatan

MLSS (g/L)	Waktu Pengendapan (menit)															
	3	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	Tinggi lumpur yang mengendap(m)															
4,0	0,171	0,133	0,107	0,094	0,088	0,083	0,078	0,073	0,068	0,065	0,062	0,060	0,057	0,055	0,052	0,052
3,5	0,151	0,120	0,096	0,086	0,081	0,075	0,070	0,062	0,060	0,057	0,057	0,055	0,052	0,049	0,049	0,049
3,0	0,122	0,101	0,083	0,073	0,073	0,062	0,057	0,055	0,052	0,049	0,047	0,047	0,047	0,044	0,044	0,044
2,8	0,109	0,088	0,075	0,060	0,057	0,052	0,049	0,047	0,047	0,044	0,044	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
2,5	0,096	0,078	0,065	0,057	0,055	0,049	0,047	0,044	0,042	0,042	0,042	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
2,0	0,081	0,062	0,055	0,049	0,044	0,042	0,039	0,036	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
1,8	0,057	0,049	0,047	0,044	0,042	0,039	0,036	0,034	0,031	0,031	0,031	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
1,6	0,044	0,036	0,029	0,026	0,026	0,026	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
1,4	0,034	0,029	0,023	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
1,0	0,023	0,018	0,016	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013

Kondisi di atas mem-perlihatkan bahwa keragaman data eksperimen aki-bat proses saling kontak antar partikel lumpur yang tidak diketahui ukuran dan frekuensinya terjadi di fase zona dan fase transisi dan mulai berhenti memasuki fase pemadatan karena sudah tidak ada ruang antar patikel untuk saling kontak. Ini ber-dampak pada penurunan kecepatan pengendapan dan keragaman pola pengendapan. Dalam hal suspensi yang tinggi yaitu > 2000 mg/L, pengendapan akan terhambat karena terjadi pemindahan air ke atas akibat pengendapan partikel-partikel padatan (Tebbutt et al.,1990).

Validasi model

Uji keandalan model dilakukan dengan validasi terhadap data model yang dihasilkan. Pengujian biasanya dilakukan dengan membandingkan selisih MSE data model dan data eksperimen. Semakin kecil nilainya maka dapat dikatakan perbedaan keduanya semakin kecil atau hampir tidak ada perbedaan antara data eksperimen dan data model. Pada Tabel 2 diperoleh nilai MSE sebesar 0,008. Dengan kata lain model mempunyai tingkat kesalahan sebesar 0,8 %. Nilai tersebut sangat kecil sehingga dapat dikatakan model valid menirukan kondisi eksperimen sampai 99,195 %.

Pada Tabel 2 juga diperoleh nilai konsentrasi maksimum yang bisa dicapai oleh model yaitu 14.116 g/L, artinya dalam rentang nilai 1g/L - 14 g/L, model mampu menggambarkan kondisi eksperimen dengan baik. Pada konsentrasi di atas 14 g/L, ternyata model secara komputasi memiliki keterbatasan dalam mengikuti kondisi eksperimen. Batasan nilai konsentasi maksimal pada model justru di butuhkan untuk menjaga kemampuan operasional sistem pengendapan di lapangan. Karena kemampuan di lapangan belum tentu mampu mengikuti kemampuan secara teoritis. Untuk melihat secara kuantitatif apakah setiap data populasi eksperimen tidak berbeda dengan data

populasi model maka dilakukan uji kesamaan nilai tengah populasi (uji t) pada setiap konsentrasi pengendapan. Hasil pengujian nilai tengah model dan data eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Nilai Tengah Model dan Data Ekperimen Tiap Konsentrasi Pengamatan

Parameter konsen- trasi yang diuji	t- hitung	P	α	hipotesis
4,0 g/L	-0,210	0,837	0,05	Tidak berbeda
3,5 g/L	0,030	0,979		Tidak berbeda
3,0 g/L	0,130	0,901		Tidak berbeda
2,8 g/L	-0,250	0,801		Tidak berbeda
2,5 g/L	0,050	0,960		Tidak berbeda
2,0 g/L	0,860	0,396		Tidak berbeda
1,8 g/L	0,880	0,387		Tidak berbeda
1,6 g/L	-1,000	0,328		Tidak berbeda
1,4 g/L	-0,980	0,333		Tidak berbeda
1,0 g/L	2,470	0,024		berbeda

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa hampir semua konsentrasi yang diuji mempunyai nilai p di atas nilai α (0,05), kecuali pada konsentrasi X=1,0 g/L. Hal ini membuktikan bahwa secara umum hampir tidak ada perbedaan antara data eksperimen dan model pada tingkat kepercayaan 95%.

Pengaruh perlakuan terhadap parameter model

Perlakuan yang dilakukan dengan mengkonsentra-sikan lumpur pada perlakuan 1 dan 2 mem-perlihatkan pengaruh yang signifikan terhadap parame-ter pengendapan. Hal ini menjelaskan bahwa tinggi dan rendahnya konsentrasi awal lumpur sangat mempengaruhi parameter model yang terbentuk. Tabel 3 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal lumpurnya akibat perlakuan maka nilai MSEnya semakin besar. Hal ini memungkinkan nilai parameter model yang telah diperoleh bisa dijadikan acuan dalam menentukan kualitas pengendapan berdasarkan konsentrasi lumpur. Peningkatan kesalahan model disebabkan keragaman yang tinggi pada perlakuan.

Tabel 4. Pengaruh Perlakuan terhadap Parameter-Parameter Model

Kondisi	Parameter					
	α	β	C	Ho	Xmax	MSE
Normal	0,00392	-0,3345	$2,8 \times 10^{-4}$	0,25984	14,116	0,008
Perlakuan 1	0,00067	-2,4276	$9,5 \times 10^{-5}$	0,25984	6,9659	0,017
Perlakuan 2	0,00075	-0,7003	$9,9 \times 10^{-5}$	0,25984	7,5178	0,014

Secara umum nilai MSE masih sangat baik yaitu diatas 95 % validitasnya dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil < 5%, meskipun terjadi peningkatan error jika dibandingkan kondisi normal. Pada Tabel 4 terlihat kecenderungan bahwa semakin tinggi konsentrasi, nilai α dan β semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil model mampu mendekati pola pengendapan dari data eksperimen. Model mulai melakukan error saat memasuki fase transisi dan kembali baik saat masuk fase pemadatan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada saat fase transisi data eksperimen mempunyai keragaman yang lebih tinggi dan menjadi stabil setelah masuk fase pemadatan. Uji nilai tengah antara model dan data eksperimen memperlihatkan tidak ada perbedaan antara kedua data tersebut dengan nilai p di setiap konsentrasi berada > 0,05 pada tingkat kepercayaan 95%, kecuali pada konsentrasi paling rendah yaitu 1,0 g/L. Secara keseluruhan model mempunyai persentase nilai MSE yang kecil yaitu masih dibawah 5%. Ini membuktikan model mampu menirukan perilaku eksperimen dengan validitas yang tinggi.

Selain itu semakin tinggi konsentrasi awal lumpur maka semakin rendah nilai parameter pengendapannya dan semakin tinggi nilai MSEnya. Hal ini disebabkan pada konsentrasi tinggi sering terjadi fenomena saling bersentuhan (kontak) antar partikel lumpur yang tidak diketahui ukuran dan frekuensinya. Hal ini membuat data eksperimen mempunyai keragaman yang tinggi sehingga model mengalami sedikit kesulitan. Namun secara keseluruhan model dikatakan sangat baik. Hal ini dibuktikan melalui validasi dengan melihat persentase nilai MSE yang dihasilkan masih relatif kecil sebesar 0,805 %. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa model mampu menirukan kondisi eksperimen sampai 99,195 %.

Hasil penelitian juga mencatat bahwa perlakuan dapat mempengaruhi parameter model yang

terbentuk. Semakin tinggi konsentrasi awal lumpur maka semakin rendah nilai parameter α dan C dan semakin tinggi MSE yang dihasilkan. Selanjutnya hubungan parameter tersebut memungkinkan dijadikan acuan menentukan kualitas pengendapan lumpur berdasarkan konsentrasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abusam.A, dan Keesman K. J. (2002). **Sensitivity Analisis of the Secondary Settling Tank Double Eksponensial Function Model**. EWA Publication.
- Eckenfelder, W. W. (1989). **Industrial Water Polution Control**. 2nd Ed. McGraw-Hill Publishing Company. New York.
- James, A. (1994). **An Introduction to Water Quality Modelling**. John Wiley dan Sons. New York.
- Metcalf dan Eddy. (1991). **Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, And Reuse**. 3rd Ed. McGraw-Hill Inc. New York.
- Muhammadi., E. Aminullah, B.Soesilo. (2001). **Analisis Sistem Dinamis**. UMJ Press. Jakarta.
- Renko, E. K. (1998). **Modelling Hindered Batch Settling Part I: A Model For Linking Zone Settling Velocity And Stirred Sludge Volume Index**. Wat.Res. vol.34, No.2.
- Sutapa, I., Sofyandi, dan Hoerunisa. (2004). **Pengaruh Konsentrasi Biomassa Terhadap Pola Pengendapan Lumpur Aktif Dari Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil**. Makalah Seminar Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses di Semarang. Puslit Limnologi-LIPI. Cibinong. Bogor.
- Srekovic, G dan Hall,E.R. (2000). **Computer Simulation of Activated Sludge Clarifier in Pulp and Paper Sector**. Sustainable Forest Management Network. Edmonton. Alberta.
- Tebutt, T. Y. (1990). **Principles of Water Quality Control**. University of Birmingham. Birmingham.
- Vanderhasselt, A dan Vanrolleghem, P. A. (1999). **Estimation of Sludge Sedimentation Parameter From Single Batch Settling Curve**. Wat. Res. Vol. 34, No. 2, pp. 395±406, Pergamon. Elsevier Science. Great Britain.