



**PENENTUAN PARAMETER KINETIKA DALAM PENGOLAHAN LIMBAH
CAIR INDUSTRI KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN
4 REAKTOR *UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET* (UASB)**

Panca Nugrahini F dan Sulistiono

Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedung Meneng Bandar Lampung, 35145

ABSTRACT

Kinetic study of anaerobic biodegradable process of mixing liquid waste industry from oil palm industry was important consideration in bioreactor Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB) to wastewater treatment. Liquid waste oil palm from PTPN VII Bekri. In this research was varied concentration feed and hydraulic retention time. For concentration feed was 15.000, 25.000, 35.000, 45000, 55.000 mg/L, and Hydraulic Retention Time (HRT) 4, 6, 8, 10, and 12 hour. The efficiencies of Chemical Oxygen Demand (COD) removal of 19,39%-70,09%. In this research, kinetic parameters of anaerobic biodegradable of mixing liquid waste factory have been defined. The kinetic parameters are constant of half saturated (K_s), maximum spesific growth rate (μ_m), amount of biomass obtained (Y), constant of microorganism death rate (k_d) and constant of maximum substrat utilization (k); -9.082,07 mg/L; -1,571 day⁻¹; - 0,044 ; 6,374 day⁻¹; 35,714 day⁻¹.

Keywords : anaerobic, kinetic parameter, liquid waste

PENDAHULUAN

Dalam industri pengolahan hasil pertanian seperti kelapa sawit ini dihasilkan bahan berupa limbah cair, yang apabila limbah tersebut dibiarkan dapat mencemari lingkungan. Metode pengolahan yang umumnya diterapkan adalah metode pengolahan biologis dengan sistem pengolahan limbah cair *lagoonataupond* anarobik terbuka. Sistem tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik. Sistem ini mampu menurunkan konsentrasi bahan organik limbah cair dengan efisiensi penurunan cukup tinggi, namun pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan kolam yang banyak dan besar sehingga memerlukan lahan yang besar.

Metode lain untuk pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). Pengolahan

menggunakan bioreaktor UASB memiliki kelebihan yaitu tidak membutuhkan lahan yang luas seperti *lagoon* (Lettinga, dkk. 1980).

Proses biodegradasi limbah cair industri kelapa sawit dengan menggunakan reaktor UASB telah dilakukan dan bekerja dengan baik, namun proyeksi skala besar pengembangan bioreaktor UASB belum dapat dilakukan karena nilai parameter kinetika pada kondisi yang terbaik belum dikalkulasi. Oleh karena, itu diperlukan pengkajian lebih lanjut tentang kinetika proses perombakan anaerobik limbah cair kelapa sawit ini dengan sistem UASB. Lewat nilai parameter kinetika pertumbuhan biologi proses pengolahan limbah cair industri kelapa sawit dengan sistem tersebut dapat diaplikasikan di lapangan, sehingga upaya untuk pengembangan sistem IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) khusus dengan teknologi sel terimobilisasi UASB dapat diterapkan.

Parameter kinetika merupakan dasar penting dalam desain bioreaktor. Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah mencari nilai parameter yang berkaitan dengan kinetika pertumbuhan biologi, yaitu *yield coefficient* (Y), *heterothropic decay constant* (k_d), *half-constant velocity* (K_s), *laju utilisasi substrat* (k), dan *maximum specific growth rate* (μ_m) agar dapat digunakan untuk perancangan sistem bioreaktor pada proses perombakan anaerobik.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai parameter kinetika pertumbuhan biologi (*yield coefficient*, *decay constant*, dan *growth rate*) yang digunakan dalam perancangan bioreaktor pada sistem pengolahan limbah kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Teknik Kimia Universitas Lampung, Bandar Lampung. Penelitian dilakukan dari bulan Februari hingga Maret 2012.

Alat dan Bahan

1. Alat Percobaan

Peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Alat ukur analisis yang digunakan adalah :

pH meter yang digunakan untuk mengukur pH, COD meter yang digunakan untuk mengukur COD, TSS meter yang digunakan untuk mengukur *Total Suspended Solid*, metering gas yang digunakan untuk mengukur gas.

Adapun rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2. Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri minyak kelapa sawit diambil dari PTPN VII Rejosari. Bahan baku yang lainnya yaitu lumpur anaerobik dan air suling.

Prosedur Penelitian

1. Analisis Awal Kondisi Limbah Cair

Limbah cair diukur nilai suhu, pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Volatile Suspended Solid* (VSS), *Total Suspended Solid* (TSS) dan pembentukan gas.

2. Karakterisasi Umpan

Stok limbah cair industri kelapa sawit yang disimpan dalam tangki penampungan untuk umpan ke reaktor UASB dengan pH dan nutrisi alami.

3. Lumpur Anaerobik Starter (Inokulum)

Lumpur berasal dari unit IPAL PPKS yang menggunakan proses anaerobik *lagoon*. Lumpur diambil dari bagian dasar dengan alat khusus sekitar 2 liter dan kemudian disimpan dalam derigen yang ditutup rapat. Lumpur inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan.

4. Reaktor *Start-Up*

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal yang didapat dari limbah alami dengan pH alami dialirkan secara *batch recycle* untuk beberapa hari sampai kondisi stabil yaitu reduksi COD mencapai 80%.

5. Eksperimen

Setelah reduksi 80% COD pada saat *start-up*, makareaktor siap untuk dioperasikan pada kondisi yang divariasikan. Umpan dipersiapkan pada konsentrasi COD (mg/l) dari limbah alami. Konsentrasi COD *influen* diturunkan secara bertahap dari konsentrasi COD limbah alami hingga kondisi dibawah limbah alami sambil

diperiksa konversi COD. Variasi lain yang ditinjau adalah waktu limbah cair di dalam reaktor (HRT) yaitu 4, 6, 8, 10, dan 12 jam.

Pengamatan

Pengamatan selama proses beroperasi dilakukan setiap 2 hari sekali konsentrasi COD umpan, konsentrasi COD *effluent*, volatil *suspended solids* (VSS), TSS dan pembentukan gas. *pHeffluent* diobservasi setiap hari.

Penentuan Parameter Kinetika dan Stoikiometri Proses

Faktor kunci proses UASB adalah biomassa mikroba yang terimobilisasi dalam reaktor UASB, maka parameter yang ditentukan berkaitan dengan kinetika pertumbuhan biologi, yaitu *heterothropic yield coefficient* (Y), *heterothropic decay constant* (k_d), *half-constant velocity* (K_s), *laju utilisasi substrat* (k), dan *maximum specific growth rate* (μ_m). Seluruh parameter kinetika dan stoikiometri ditentukan berdasarkan formulasi Metcalf dan Eddy (1991). Setiap parameter tersebut sangat penting karena akan berguna untuk menghitung dimensi luas dan tinggi reaktor UASB.

a. Yield coefficient (Y) dan Decay constant (k_d)

Nilai Y dan k_d ditentukan dengan persamaan:

$$(1/\theta) = Y \{(S_o - S)/X\theta\} - k_d$$

b. Half constant velocity (K_s) dan laju utilisasi substrat (k)

Nilai kedua konstanta ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\{(k \cdot S)/(K_s + S)\} = (S_o - S)/X\theta$$

c. Growth rate (μ , μ_m)

Pertumbuhan mikroorganisme diestimasi dengan persamaan:

$$r_g = \mu X = -Y r_{su}$$

$$r_{su} = -(1/Y) \{(\mu_m S X)/(K_s + S)\} ; k = \mu_m/Y$$

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan acak kelompok (*Randomized Complete Block Design*). Formulasi rancangan percobaan diuraikan dalam Tabel 3.2. Penelitian ini dilakukan menggunakan reaktor UASB dengan 2 variabel penelitian yaitu HRT dan COD influen dengan kandungan nutrisi dan pH alami. Variabel yang divariasikan yaitu :

Hydraulic Retention Time (HRT) = 12 jam; 10 jam; 8 jam; 6 jam; 4 jam

Konsentrasi COD influen (mg/l) = limbah alami dan kondisi di bawah limbah alami
Penelitian dilaksanakan secara berkesinambungan dengan tata laksana penelitian keseluruhan, disajikan pada Gambar 3.2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Kondisi Awal Limbah Cair

Pada penelitian ini menggunakan limbah cair industri yaitu limbah cair kelapa sawit dari Unit Pengolahan PTPN VII. Limbah cair industri ini dianalisis secara kimiawi yang hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 3.1, dimana limbah tersebut tampilan visualnya diilustrasikan dalam Gambar 3.1.

Pelaksanaan *Start Up*

Pelaksanaan *Start-up* dilakukan pada tanggal 13 februari 2012 pukul 10.00 WIB. Limbah cair industri dianalisis secara kimiawi dan dilihat tampilan visual campuran limbah tersebut.

Pelaksanaan Operasi *Kontinyu*

Operasi *kontinyu* dilakukan selama 6 hari pada setiap tahapan (*run*) eksperimen dimana keseluruhan *run* yang dilaksanakan adalah 25 run, dan perlakuan yang disesuaikan dengan rancangan percobaan.

Pembahasan

Kondisi *Influent*

Influent pada penelitian ini yaitu limbah cair kelapa sawit. Limbah ini kemudian dilakukan uji pengukuran kadar COD yang mencapai nilai 55.000 mg/l dengan pH yang bersifat asam sekitar 4,5.

Kondisi Lumpur Anaerobik

Pada penelitian ini menggunakan lumpur aktif sebagai media untuk menumbuhkan mikroorganisme yang akan digunakan pada proses anaerobik reduksi campuran limbah cair industri. Lumpur aktif pada penelitian ini berasal dari lumpur anaerobik pengolahan limbah cair industri pengolahan sawit PTPN VII Bekri. Lumpur anaerobik yang diperoleh dari kolam pengolahan limbah sawit tersebut berwarna hitam dengan sedikit kandungan air, sehingga lumpur terlihat kental, seperti ditampilkan

dalam Gambar 3.2. Besarnya volume lumpur yang dimasukkan kedalam reaktor sebesar 60% volume reaktor.

Start-up Proses Bioreaktor UASB

Start-up proses diobservasi setiap hari, tetapi analisis COD dilakukan setiap 2 hari sekali. Nilai COD dianggap sebagai indikator pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang terkandung dalam campuran limbah tersebut.

Konsentrasi bakteri anaerob didalam sistem bioreaktor anaerob diwakili oleh konsentrasi VSS (*volatile suspended solid*) di dalam bioreaktor. Pada awal proses *start up* terjadi penurunan konsentrasi biomasa yang signifikan. Dalam fase *start-up* ini, perubahan warna pada limbah cair mulai diamati. Perubahan warna pada limbah cair *influent* dan *effluent* terlihat sangat kontras. Warna coklat pekat yang mendominasi *influent* berubah menjadi keruh. Selain itu pada fase ini, juga teramati adanya gelembung-gelembung gas yang terbentuk di dalam reaktor. Secara visual dapat dilihat warna limbah cair hari ke-tiga puluh *start-up* bioreaktor berwarna kuning terang dengan kandungan endapan yang lebih sedikit daripada kondisi awal limbah cair yang berwarna coklat pekat dan kandungan endapan yang tinggi.

Analisis Kinerja Proses Kontinyu

Setelah tahap *start-up* selesai, penelitian ini dilanjutkan dengan melihat kinerja bioreaktor UASB yang dioperasikan secara kontinyu. Data dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Konsentrasi Biomassa dan Parameter Kinetika

1. Konsentrasi Biomassa

Konsentrasi biomassa didalam reaktor diukur sebagai padatan tersuspensi menguap

(VSS) yang terdapat didalam bioreaktor dan cairan substrat. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa penurunan waktu tinggal hidraulik(HRT) atau peningkatan laju pembebanan COD menimbulkan peningkatan konsentrasi biomassa di dalam reaktor. Peningkatan konsentrasi biomassa berkaitan dengan banyaknya nutrisi yang ada dalam sistem. Pada penelitian ini tidak dibutuhkan penambahan nutrisi, karena nutrisi alami dari limbah cair kelapa sawit tersebut sudah memenuhi kebutuhan akan nutrisi itu sendiri.

2. Perhitungan Parameter Kinetika (K_s , k)

Konsentrasi setengah jenuh (K_s) dinyatakan sebagai konsentrasi substrat pada waktu separuh pertumbuhan maksimum (konstanta setengah jenuh), sedangkan k didefinisikan sebagai laju pemanfaatan substrat maksimum terhadap jumlah massa mikroorganisme yang berkembang.

Dari data Konsentrasi biomassa dan konsentrasi bahan organik (COD) pada reaktor dapat dihitung K_s dan k pada sistem anaerobik dalam bioreaktor UASB.

Data-data yang digunakan dalam perhitungan K_s dan k dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung K_s dan k adalah persamaan dibawah ini:

$$(k.S)/(K_s+S) = (S_0-S)/X\theta \quad \dots (3.1)$$

Dari persamaan 3.1 diatas bila dialurkan $\theta.X/S_0-S$ dengan $1/S$ diperoleh kemiringan (slope) = K_s/k dan intersep = $1/k$. Penentuan parameter kinetika K_s dan k diperlihatkan pada Gambar 3.3.

Dari gambar 4.15 diperoleh intersep = $0,028 = 1/k = 0,028$; $k = 1/0,028$, sehingga didapat nilai $k = 35,714/\text{hari}$; Kemiringan $K_s/k = -254,3$ sehingga $K_s = -254,3 \times 35,714 = -9.082,07 \text{ mg/l}$.

3. Perhitungan Parameter Kinetika (Y , k_d)

Dari data Konsentrasi biomassa dan konsentrasi bahan organik (COD) pada reaktor dapat dihitung Y dan k_d pada sistem anaerobik dalam bioreaktor UASB.

Yield coefficient merupakan rasio jumlah massa sel yang terbentuk terhadap jumlah massa substrat yang dikonsumsi. Sedangkan *decay constant* mengindikasikan jumlah sel yang mengalami penurunan karena kematian sel. Data-data yang digunakan dalam perhitungan Y dan k_d dapat dilihat pada Tabel 3.4. Persamaan yang digunakan untuk menghitung Y dan k_d adalah persamaan dibawah ini:

$$(1/\theta) = Y \{(S_0-S)/X\theta\} - k_d \quad \dots (3.2)$$

Dari persamaan 3.2 diatas bila dialurkan $S_0-S/X\theta$ dengan $1/\theta$ diperoleh kemiringan (slope) = Y dan intersep = k_d . Penentuan parameter kinetika Y dan k_d diperlihatkan pada Gambar 3.4.

Dari Gambar 3.3 diperoleh intersep = $6,374 = k_d$; Kemiringan = $Y = -0,044$ Sedangkan $\mu_m = 35,714 \times -0,044 = -1,571 \text{ hari}^{-1}$.

Data kinetika yang diperoleh di atas dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter kinetika pertumbuhan biologi.

KESIMPULAN

1. Rentang hasil reduksi kandungan COD limbah cair yang diumpankan pada setiap kelompok eksperimen kurangbaik, yaitu sekitar 19,39%-70,09%.
2. Parameter kinetika proses perombakan anaerobik limbah cair campuran industri yang diperoleh pada penelitian ini yakni konstanta setengah jenuh (K_s), konstanta pemanfaatan substrat (k), Yield (Y), konstanta laju kematian (k_d), dan laju pertumbuhan (μ_m) yaitu berturut-turut -9,082,07 mg/L; 35,714/hari; -0,044; 6,374/hari; -1,571/hari.

Berdasarkan hasil penelitian disarankan:

1. Masalah-masalah operasi seperti, penyumbatan pada saluran keluaran dari reaktor menuju tangki sedimentasi, pecahnya selang proses yang timbul pada penelitian ini harus diatasi agar penelitian berikutnya permasalahan operasi ini tidak terulang kembali.
2. Karena reduksi COD pada penelitian ini masih sangat rendah yaitu 19,39%-70,09%, disarankan untuk melakukan treatment awal limbah cair kelapa sawit sebelum dialirkan ke reaktor agar kandungan lemak limbah cair tidak terlalu tinggi saat dialirkan ke reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad,A.,T.Setiadi, M.Syafila dan O.B.Liang (1999), *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Industri Yang mengandung Minyak Lemak*; Pengaruh Pembebanan organik terhadap kinerja bioreaktor , *Makalah Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardjoyo 1999*,TK-ITB, Bandung
- Amatya, P L., 1996, *Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor*. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Anh, N.T. 1998. *Methods for UASB Reactor Design*. Camber Southeast, Inc. <http://www.waterandwastewater.com>. 24 Februari 2012
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. dan Klapwijk A., 1980, *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment*, *Biotech. and Bioeng.*, Vol. 27, pp. 699-734

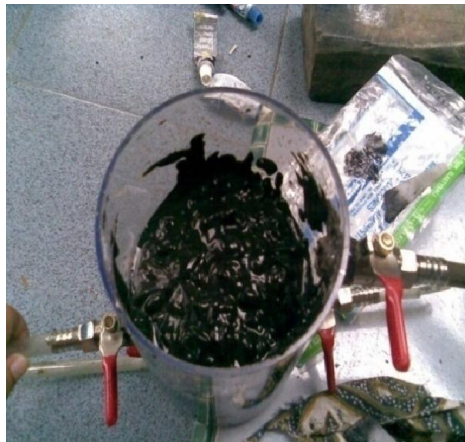


- Metcalf dan Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York, Mc Graw Hill Inc.
- Said, G, 1996, *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit, Cetakan Pertama*, Trubus Agriwisaya Anggota IKAPI
- Schmidt, J.E. dan Ahring, K., 1996, *Granular sludge formation in UASB reactors*, Biotech. Bioeng., Vol. 49, pp. 229-246
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1998, *A critique on operational strategy for start-up of UASB reactors: Effects of sludge loading rate and seed/biomass concentration*, Biochem. Eng. J., Vol. 1, pp. 107-11

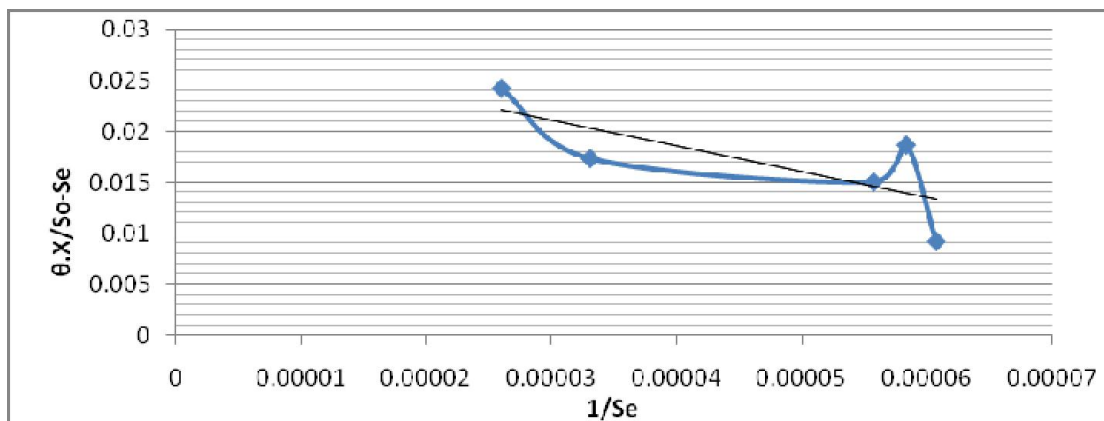
LAMPIRAN



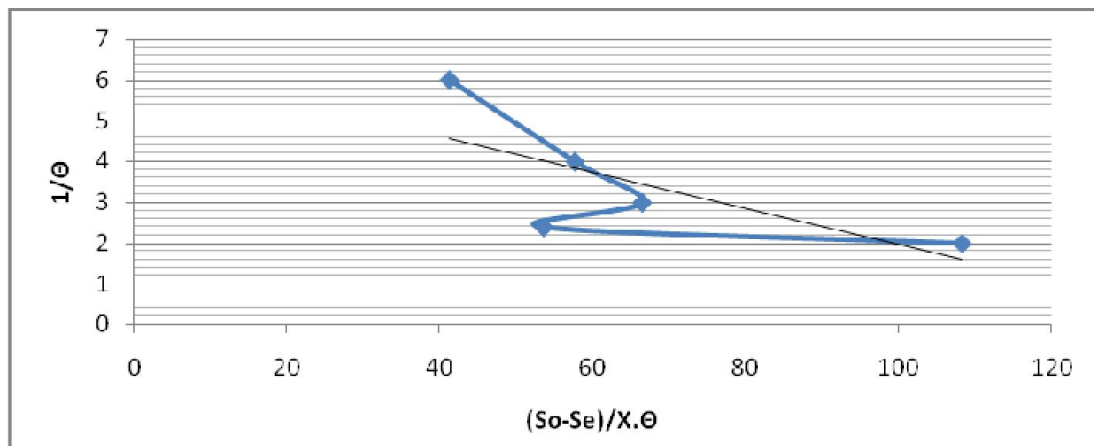
Gambar 3.1. Kondisi limbah Kelapa Sawit yang digunakan



Gambar 3.2. Lumpur anaerobik asal pengolahan limbah cair pabrik CPO PTPN VII Bekrie Lampung Tengah



Gambar. 3.3 Menentukan Parameter Kinetika K_s dan k



Gambar. 3.4 Menentukan Parameter Kinetika Y dan k

TABEL

Tabel 3.1. Data pengukuran awal sampel limbah industri

Parameter	Limbah cair industri sawit
COD (mg/l)	55.000
TSS (mg/l)	4.225
Kekeruhan(FAU)	9.450
Ph	4,2

Tabel 3.2. Hasil nilai faktor pada setiap run (perlakuan)

Run	Nilai Akhir Tiap Pengamatan				Nilai Rerata Produksi Gas (ml)
	Reduksi COD (%)	Turbiditas (FAU)	TSS (mg/l)	pH	
1	30,09	6.210	2.630	4,6	3,46
2	45,06	4.020	3.216	5,3	3,06
3	67,40	4.569	1.873	5,2	5,63
4	68,85	4.500	1.869	4,6	3,86
5	70,09	4.650	1.838	5,4	3,90
6	61,49	2.380	1.872	5,6	3,80
7	36,97	4.607	2.784	5,3	3,53
8	50,22	3.708	2.691	5,2	3,86
9	44,17	4.310	2.406	4,8	4,83
10	45,18	5.700	2.080	5,5	4,06
11	38,94	4.773	2.531	5,5	4,26
12	30,86	2.897	2.724	5,2	4,16
13	55,63	6.382	2.974	5,5	4,20

14	36,25	6.258	2.115	5,4	3,93
15	41,87	4.313	2.877	5,1	3,83
16	23,66	5.722	1.317	5,0	3,93
17	36,88	5.124	1.541	5,3	3,76
18	19,39	4.073	1.754	5,1	3,80
19	29,86	3.313	1.545	5,2	3,50
20	26,75	3.439	1.543	5,4	3,83
21	29,73	3.575	1.055	4,8	3,90
22	24,75	3.030	1.363	5,2	4,26
23	36,27	2.593	1.040	5,1	4,03
24	26,74	3.510	1.012	5,3	4,26
25	34,01	3.117	1.058	5,3	3,90

Tabel. 3.3. Data-data perhitungan menghitung Ks dan k

Θ (hari)	X (mg/L)	So (mg/L)	Se (mg/L)	1/Se	$\Theta.X/So-Se$
0,16667	2.407	55.000	38.450	2,60 E-05	0,02424
0,25000	1.720	55.000	30.215	3,31 E-05	0,017349
0,33333	1.674	55.000	17.930	5,58 E-05	0,015052
0,41667	1.697	55.000	17.130	5,84 E-05	0,018671
0,50000	712	55.000	16.450	6,08 E-05	0,009235

Tabel. 3.4. Data-data perhitungan menghitung Y dan kd

θ (hari)	X (mg/L)	So (mg/L)	S (mg/L)	1/ θ	$S_0-S/X\theta$
0,16667	2.407	55.000	38.450	5,99988	41.25385
0,25000	1.720	55.000	30.215	4,00000	57.63953
0,33333	1.674	55.000	17.930	3,00003	66.43436
0,41667	1.697	55.000	17.130	2,39998	53.55762
0,50000	712	55.000	16.450	2,00000	108.2865