

PENENTUAN NILAI PARAMETER KINETIKA PROSES DALAM PEROMBAKAN SECARA ANAEROBIK LIMBAH CAIR INDUSTRI GULA, TEPUNG TAPIOKA, DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN 4 REAKTOR UASB

Dwiyantara, A,¹⁾ dan Nugrahini P.F.²⁾

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, Indonesia

E-mail:

ABSTRAK

Industri gula tebu, industri tepung tapioka dan industri pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000 mg COD/L, ± 30.000 mg COD/L dan 50.000 mg COD/L. Digunakan Reaktor UASB sebanyak 4 buah reaktor dengan tujuan untuk meningkatkan reduksi COD dan jumlah gas yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi COD influent yaitu 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 35.000 dan 45.000 mg/L. Pada penelitian ini dilakukan analisis pada masing-masing limbah cair dan limbah cair campuran diukur nilai pH, COD, BOD, kandungan zat padat (TSS), dan tingkat kekeruhan pada *influent* dan *effluent*-nya. Efisiensi reduksi COD limbah cair campuran yang dihasilkan sangat baik, hingga mencapai rentang 90,17%-98,64%. Akumulasi gas rata-rata yang dihasilkan tiap eksperimen besarnya mencapai rentang 5,4-15,8 mL/hari. Nilai Parameter Kinetika untuk *Half constant velocity* (Ks), konstanta utilisasi substrat (k), *Yield coefficient* (Y), *Decay constant* (k_d), dan *Maximum Growth rate* (μ_m) adalah 0,876 gr/L, 142,857/hari, 0,789, 0,533/hari, 41,525/hari

Kata kunci: COD, limbah, TSS, Ph, BOD, ekeruhan

ABSTRACT

Sugars cane sugared industry, tapioca flour industry and wide palm oil industry processing result molten waste in large quantities with concentration decarbonizes each of ± 4.000 mg COD/L, ± 30.000 mg COD/L and 50.000 mg COD/L used UASB'S Reactor as much 4 reactors with intent to increase COD'S reduction and resulting gas amount. On variation does this research COD Influent's concentration which is 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 35.000 and 45.000 mg/L. In this research on each waste molten and waste molten mixture be measured by value pH, COD, BOD, Total Suspended Solid (TSS), and turbidity zoom on *influent* and *effluent* COD reduction efficiency waste molten resulting mixture is very good, until reach range 90,17%-98,64%. Accumulate average gas every run, up to range 5,4-15,8 mL /day. Value of Kinetics Parameter for *Half constant velocity* (Ks), *substrat constant utilization* (k), *Yield coefficient* (Y), *Decay constant* (k_d), and *Maximum Growth rate* (μ_m) are 0,876 gr/L, 142,857/day, 0,789, 0,533/day, 41,525/day.

Key word: COD, waste, TSS, Ph, BOD, turbidity

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Industri gula tebu, industri tepung tapioka dan industri pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000

mg COD/L (Litbang PT. GPM, 1999), ± 30.000 mg COD/L dan 50.000 mg COD/L (Ahmad dkk., 2003). Secara kuantitas, proses produksi ketiga jenis industri tersebut menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yaitu pengolahan 1 ton singkong menjadi tepung tapioka menghasilkan sekitar 4.000-6.000 liter limbah cair (Djarwati dkk, 1993), produksi 1 ton kelapa sawit mengeluarkan limbah cair sekitar 2.500-3.500 liter (Ahmad dkk., 2003) dan pengolahan 1 ton tebu per hari menghasilkan limbah cair sebesar 5.000 liter (Mintati, 2002).

Sistem pengolahan limbah cair *lagoon/pond* anaerobik terbuka yang diterapkan oleh ketiga industri tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, amoniak, hidrogen sulfida dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik (Kiely, 1997). Gas-gas tersebut kemudian terdispersi ke atmosfer/udara terbuka secara alami. Pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan kolam yang banyak dan besar sehingga memerlukan lahan yang luas.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia (Lab. OTK) Universitas Lampung, Bandar Lampung. Lama penelitian yang dilakukan adalah selama 2 bulan, yaitu pada akhir Desember 2011 sampai dengan akhir Februari 2012.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi empat reaktor UASB, *gas metering unit*, tangki penampungan *influent* dan *effluent*, pH meter, penyangring dan pompa peristaltik.

Peralatan yang digunakan adalah :

- pH meter yang digunakan untuk mengukur pH
- COD meter yang digunakan untuk mengukur COD
- BOD meter yang digunakan untuk mengukur BOD
- TSS meter yang digunakan untuk mengukur *Total Suspended Solid*
- Turbiditymeter* yang digunakan untuk mengukur kekeruhan
- Metering gas yang digunakan untuk mengukur gas

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tapioka yang diambil dari industri tepung tapioka rakyat desa Sumber Agung, limbah cair gula diambil dari PTPN VII Unit Pengolahan Gula Bunga Mayang, sedangkan limbah cair industri

minyak kelapa sawit diambil dari PTPN VII Rejosari. Bahan baku yang lainnya yaitu lumpur anaerobik dan aquades.

Analisis Awal Kondisi Limbah Cair Masing-masing limbah cair dan limbah cair campuran diukur suhu, pH, COD, kandungan zat padat (TSS), dan tingkat kekeruhan (APHA, 1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat.

Stok limbah cair industri gula, limbah cair industri tapioka, dan limbah cair industri kelapa sawit yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur dengan perbandingan volume optimal yaitu 1:1:12 sehingga diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 20.000 mg/L yang kemudian dapat diencerkan sesuai yang diinginkan sebagai umpan ke reaktor UASB (Widyantoro, 2008) dengan pH dan nutrisi alami (Metcalf dan Eddy, 1991).

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 jerigen yang ditutup rapat.

Reaktor Start-Up

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan meng-inokulasi lumpur inokulum sebesar 60% volume kerja reaktor, dimana volume kerja reaktor yaitu sebesar 2L, sehingga 60% dari 2L yaitu sebesar 1,2L.

Umpan dengan konsentrasi COD sebesar 10.000 mg/L dimasukkan kedalam masing-masing reaktor bukan dialirkan karena pada saat start-up operasinya dijalankan secara *batch* dimana tidak ada aliran masuk dan keluar. Umpan tersebut dimasukkan ke dalam reaktor hingga mencapai volume kerja sebesar 1,2 L, diamkan umpan didalam reaktor, analisis dilakukan setiap hari hingga mencapai reduksi COD sebesar 90% sehingga proses kontinyu dapat dijalankan. Jika reduksi COD tidak tercapai 90% maka harus dilakukan penggantian atau penambahan lumpur aktif baru karena diindikasikan bahwa lumpur aktif yang terdapat di dalam reaktor telah mati.

Eksperimen

Setelah reduksi 90% COD, reaktor siap untuk dioperasikan pada kondisi yang divariasikan. Umpan dipersiapkan pada konsentrasi COD 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 35.000, 45.000 mg/L. Konsentrasi COD influen dinaikkan secara bertahap dari 10.000 hingga konsentrasi maksimum 45.000 mg/L sambil diperiksa konversi COD. Variasi lain yang ditinjau adalah waktu limbah cair didalam reaktor (HRT) yaitu 4, 6, 8, dan 10 jam.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan full faktorial. Kondisi yang dianggap sebagai kelompok adalah kelompok waktu pengamatan. Lama waktu

pengamatan untuk setiap kondisi perlakuan adalah 8 hari, dan proses berlangsung secara berkesinambungan (*continue*), tanpa dilakukan replikasi (pengulangan). Kondisi perlakuan terdiri atas kondisi perlakuan dengan 6 faktor pengamatan, yaitu COD *influent dan effluent*, TSS *influent dan effluent*, pH *influent dan effluent*, kekeruhan *influent dan effluent*, suhu, dan produksi gas. Formulasi rancangan percobaan diuraikan dalam Tabel 1.

Konsentrasi COD influen (mg/l)= 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 35.000, dan 45.0000 Kandungan nutrisi = Nutrisi alami (tidak ada penambahan nutrisi apapun) pH umpan = pH alami (tidak ada perlakuan untuk perubahan pH selama proses)

Tabel 1. Rancangan Percobaan

RUN	COD (mg/L)	HRT (jam)
Start	10.000	24
1	10.000	10
2	15.000	10
3	20.000	10
4	25.000	10
5	35.000	10
6	45.000	10
7	10.000	8
8	15.000	8
9	20.000	8
10	25.000	8
11	35.000	8
12	45.000	8
13	10.000	6
14	15.000	6
15	20.000	6
16	25.000	6
17	35.000	6
18	45.000	6
19	10.000	4
20	15.000	4
21	20.000	4
22	25.000	4
23	35.000	4
24	45.000	4

Parameter Percobaan: *Hydraulic Retention Time*, (HRT) = 10 jam; 8 jam; 6 jam, 4 jam

Penentuan Parameter Kinetika

Beberapa parameter kinetika dan stoikiometri ditentukan berdasarkan hasil penelitian. Karena 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), *konstanta 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.

Yield coefficient (Y) dan Decay constant (k_d)

Nilai Y dan k_d ditentukan dengan persamaan:

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

Half constant velocity (Ks) dan konstanta utilisasi substrat (k)

Nilai kedua konstanta ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\{(k \cdot S)/(Ks+S)\} = (S_0 - S)/X\theta \dots\dots(2)$$

Maximum Growth rate (μ_m)

Pertumbuhan mikroorganisme diestimasi dengan persamaan:

$$k = \mu_m/Y \dots\dots\dots(3)$$

Pengamatan

1. Pengukuran COD
2. Pengukuran TSS
3. Pengukuran pH
4. Pengukuran Turbidity
5. Pengukuran VSS
6. Pengukuran jumlah gas
7. Penentuan Parameter Kinetika

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan *Start-up* dilakukan pada tanggal 13 februari 2012 pukul 13.00 WIB. Campuran ketiga limbah cair industri dianalisis secara kimiawi. Nilai akhir dari setiap faktor yang diamati pada setiap kondisi dalam eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1.3. Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai akhir reduksi kandungan COD limbah cair berada pada rentang 90,17 %-98,64 %, pH akhir berada pada interval 5,6-6,94, kandungan TSS adalah sekitar 90-1.350 mg/L dan turbiditas pada nilai 110-1.590 FAU, serta produksi gas rata-rata yang dihasilkan 5,4 - 15,8 (ml/hari).

Tabel 2. Data pengukuran awal sampel limbah industri

Parameter	Limbah cair industri gula	Limbah cair industri Tapioka	Limbah cair industri sawit
COD (mg/l)	8.650	7.800	59.800
TSS (mg/l)	650	605	7.600
Kekeruhan(FAU)	720	690	8.500
pH	4,53	4,3	4,0

Inffluent pada penelitian ini masih sama dengan penelitian sebelumnya (Kurniadi, dkk.2010) yaitu dengan mencampurkan limbah cair tapioka, limbah cair gula dan limbah cair kelapa sawit .

Kondisi Lumpur Anaerobik

Pada penelitian ini menggunakan lumpur aktif sebagai media untuk menumbuhkan mikroorganismenya 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 Bekrie. Proses pengambilan lumpur anaerobik menggunakan sedimen sampler agar lumpur yang diambil di bagian dasar kolam dengan kedalaman 2-4 meter. Tujuannya adalah untuk mendapatkan lumpur anaerobik yang masih aktif dan tidak mengandung mikroorganismenya yang telah mati.

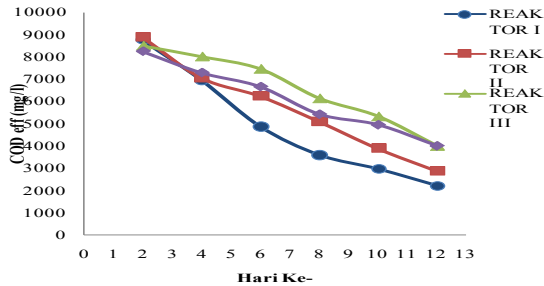
Tabel 3. Hasil nilai faktor pada setiap run (perlakuan)

RUN	Reduksi COD	Turbiditas (mg/L)	TSS (mg/L)	pH	Produksi Gas (ml)
1	98,64%	110	90	5,8	5,45
2	92,07%	604	574	5,7	5,65
3	93,36%	634	550	6,1	5,88
4	96,11%	800	660	5,8	13,61
5	92,00%	1508	1350	5,6	14,67
6	97,61%	280	147	6,0	12,25
7	98,37%	320	205	6,0	9,84
8	92,87%	475	480	5,9	10,71
9	94,70%	600	575	5,9	10,51
10	97,00%	600	560	5,8	11,83
11	93,55%	1590	1100	5,8	12,80
12	97,80%	287	225	6,1	14,51
13	97,87%	565	420	6,0	14,33
14	90,17%	600	585	6,1	15,19
15	94,80%	575	500	5,8	14,78
16	96,86%	975	460	5,9	14,50
17	92,33%	935	840	5,8	15,51
18	92,07%	300	290	6,3	10,78
19	98,64%	372	452	5,9	13,18
20	95,20%	359	300	5,9	13,16
21	97,28%	415	40	6,0	10,62
22	94,17%	525	560	6,0	10,91
	98,49%	600	628	5,9	12,89

Start-up Proses Bioreaktor UASB

Start-up proses merupakan fase yang dibutuhkan oleh mikroorganismenya untuk menyesuaikan diri dengan limbah umpan. Pada fase *start-up* konsentrasi limbah cair yang digunakan sebagai umpan untuk proses di bioreaktor secara kontinu adalah ± 10.000 mgCOD/L. Selama fase *start-up*, faktor yang diamati adalah kondisi COD umpan dan effluen, pH dan akumulasi gas. Peningkatan beban COD umpan dilakukan setelah terjadi reduksi COD umpan yang tinggi >80%, dan disertai pembentukan gas yang

dalam penelitian ini terukur di dalam gas matering unit. *Start-up* proses diobservasi setiap hari, tetapi analisis COD dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali. Nilai COD dianggap sebagai indikator pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang terkandung dalam campuran limbah tersebut. Proses *start-up* pada kedua reaktor dilakukan bersamaan sehingga perubahan nilai COD selama proses *start-up* pada reaktor I, reaktor II, reaktor III dan reaktor VI dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara waktu Start-Up terhadap COD keluaran

Setelah tahap *start-up* selesai, penelitian ini dilanjutkan dengan melihat kinerja Bioreaktor UASB yang dioperasikan secara kontinyu. Sesuai dengan rancangan percobaan pada tabel 1.

Konsentrasi Biomassa didalam reaktor diukur sebagai padatan tersuspensi menguap (VSS) yang terdapat didalam bioreaktor dan cairan substrat. Data hasil Pengukuran Konsentrasi Biomassa disajikan dalam tabel. 4.

Tabel. 4. Konsentrasi Biomassa setiap run

Waktu tinggal cairan (θ, jam)	Konsentrasi COD umpan (mg/L)	Konsentrasi Biomassa (VSS) (g/L)
10	15000	4,612
10	20000	5,491
10	25000	6,545
10	35000	7,718
10	45000	8,633
8	10000	3,554
8	15000	4,987
8	20000	5,698
8	25000	6,009
8	35000	7,662
8	45000	8,598
6	10000	3,855
6	15000	5,012
6	20000	5,654
6	25000	6,220
6	35000	7,651
6	45000	8,376
4	10000	3,669
4	15000	5,123
4	20000	5,781
4	25000	6,661
4	35000	7,321
4	45000	8,625

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 campuran limbah cair agroindustri tersebut sudah memenuhi kebutuhan akan nutrisi itu sendiri. Walaupun dalam penelitian ini nutrisi yang digunakan alami yaitu berasal dari campuran limbah cair agroindustri, namun konsentrasi biomasnya tetap tinggi. Hal ini dapat dijelaskan, dengan peningkatan pembebanan organik berarti meningkatkan pasokan makanan yang diperlukan oleh bakteri anaerob, dengan sendirinya kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri dapat dicukupi sehingga pertumbuhan bakteri anaerob lebih baik dibandingkan dengan pasokan makanan yang rendah.

Konsentrasi setengah jenuh (Ks) 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.

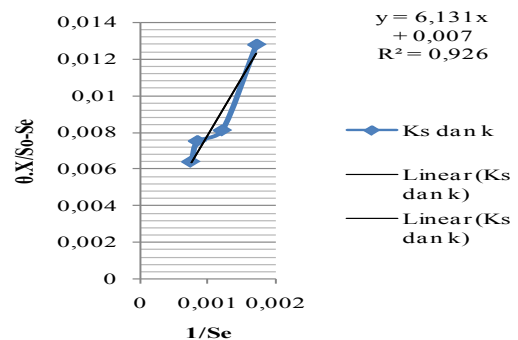
Dari data Konsentrasi Biomassa dan konsentrasi bahan organik (COD) pada reaktor dapat dihitung ks dan k pada sistem anaerobik dalam bioreaktor UASB. Data-data yang digunakan dalam perhitungan kinetika berikut diambil dari run ke 17 ks dan k dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. Data-data perhitungan menghitung Ks dan k

θ (hari)	X (mg/L)	So (mg/L)	Se (mg/)	1/Se	θ.X/ So-Se
0,4167	518	35000	1360	0,00073	0,0064
0,333	420	35000	1200	0,00083	0,0075
0,25	330	35000	834	0,00120	0,0081
0,1666	264	35000	586	0,00170	0,0013

Persamaan yang digunakan untuk menghitung ks dan k adalah persamaan dibawah ini: $(k.S)/(Ks+S)\} = (S_0 - S)/X\theta \dots (4)$

Dari persamaan (4) diatas bila dialurkan $\theta.X/S_0 - S$ dengan $1/S$ diperoleh kemiringan (slope) = Ks/k dan intersep = $1/k$. Penentuan parameter kinetika Ks dan k diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Menentukan Parameter Kinetika Ks dan k

Dari gambar 4.15 diperoleh intersep = 0,007 = $1/k = 0,007$; $k = 1/0,007$, sehingga didapat nilai $k = 142,857/\text{hari}$; Kemiringan $K_s/k = 6,131$ sehingga $K_s = 6,131 \times 142,857 = 875,856 \text{ mg/L} = 0,876 \text{ gr/L}$.

Data kinetika yang diperoleh di atas dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter kinetika pertumbuhan biologi. Hal ini dibuktikan dengan besarnya nilai R^2 yang diperoleh dari persamaan regresi linear yaitu sebesar 0,926.

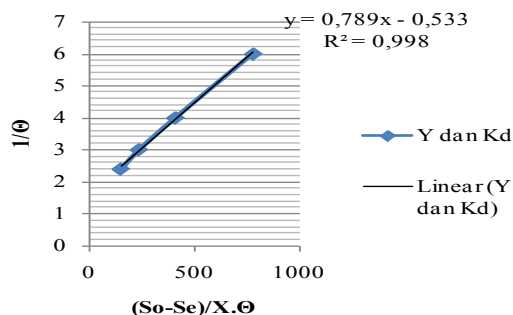
Dari data Konsentrasi Biomassa dan konsentrasi bahan organik (COD) pada reaktor dapat dihitung Y dan k_d pada sistem anaerobik dalam bioreaktor UASB. *Yield coefficient* merupakan rasio jumlah massa sel yang terbentuk terhadap jumlah massa substrat yang dikonsumsi. Sedangkan *decay constant* mengindikasikan jumlah sel yang mengalami penurunan karena kematian sel. Data-data yang digunakan dalam perhitungan Y dan k_d dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini: Persamaan yang digunakan untuk menghitung Y dan k_d adalah persamaan dibawah ini: $(1/\theta) = Y(S_0 - S)/X\theta - k_d \dots (5)$

Dari persamaan (5) 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 4.5.

Tabel 4.5. Data-data perhitungan menghitung Y dan k_d

θ (hari)	X (mg/L)	S_0 (mg/L)	S (mg/L)	$1/\theta$	$S_0 - S/X\theta$
0,4167	75	35000	1360	2,399	155,859
0,333	88	35000	1200	3,003	241,670
0,25	109	35000	834	4	414,133
0,1666	120	35000	586	6,002	782,449

Dari Gambar 3. diperoleh intersep = $-0,533 = k_d = 0,533 \text{ hari}^{-1}$; Kemiringan = $Y = 0,789$. Sedangkan $\mu_m = 52,63 \times 0,789 = 41,525 \text{ hari}^{-1}$. Data kinetika yang diperoleh di atas dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter kinetika pertumbuhan biologi. Hal ini dibuktikan dengan kecilnya nilai R^2 yang diperoleh dari persamaan *regresi linear* yaitu sebesar 0.998



Gambar 3. Menentukan Parameter Kinetika Y dan k_d

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Reduksi COD paling besar berada pada run 1 sebesar 98,64%. Nilai Parameter Kinetika untuk *Half*

constant velocity (K_s), konstanta utilisasi substrat (k), *Yield coefficient* (Y), *Decay constant* (k_d), dan *Maximum Growth rate* (μ_m) adalah 0,876 gr/L, 142,857/hari, 0,789, 0,533/hari, 41,525/hari

DAFTAR PUSTAKA

Agustian, J., Pramono, D., & Ryan, A.S. 2006, .Continuous start-upstrategies of UASB operation degrading tapioca wastewater, Jakarta: Proc. HEDS Sem Sci Tech.

Agustian, J. & Santoso, B.I. 2006. Proses degradasi limbah cair substrat ganda secara biologi anaerobik, Laporan Penelitian Mandiri, Universitas Lampung.

Ahmad, A.L., Ismail, S. & Bhatia, S. 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology, Desalination, 157, p. 87-95

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.

Annachhatre, A.P. & Amatya, P.L. 2000. UASB Treatment Of Tapioca Starch Wastewater, Journal Of Environmental Engineering. Dec. 2002: 1149-1152.

APHA. 1985, Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed., Washington DC: American Public Health Association

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1996. Buku panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tapioka di Indonesia. Jakarta.

BAPEDALDA Lampung, 2004, Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung, Lampung.

Chaiprasert, P., Nophanata, A., Chayawattana, T., Wangnai, C., Rukruem, W., Kullavanijaya, P., Bhumiratana, S. & Tanticharoen, M. 2003. The biogas planhts high rate anaerobic fixed film technology for agroindustrial wastewater, KMUTT, Thailand.

Djarwati., Fauzi, I. & Sukani. 1993. Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang.

Fang, H.H.P. & Chui, H.K. 1993. Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37°C, J. Env. Eng., Vol. 119(1): 103-119

- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. & Chui H.K., 1995, Performance and sludge characteristics of UASB process treating propionate-rich wastewater, *Wat. Res.*, Vol. 29(3): 895-898
- Ghangrekar, M.M. 1996, "Experience with UASB Reactor Start-up Under Different Condition." *Wat.sci.tech.* 34 (5-6): 421-428.
- Grotenhuis, J.T.C., Kissel, J.C., Plugge, C.M., Stams, A.J.M., & Zehnder, A.J.B. 1991. Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors, *Wat. Res.* Vol. 25(1), pp. 21-27
- Jeganaesan, J. & Annachatre, A. 2002. State of wastewater management in agro-based starch industry in Thailand, *WWTM Newsletter*, March
- Kiely. 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Kurniadi. 2010. Karakterisasi Perombakan Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor UASB Seri dengan Variasi Konsentrasi COD, Laporan Penelitian. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. & Klapwijk A.. 1980. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment, *Biotech. and Bioeng.* 27: 699-734
- Mangunwidjaja, D. & Suryani, A. 1994. *Teknologi Bioproses*. PT.Jakarta: Penebar Swadaya.
- Metcalf & Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York: Mc Graw Hill Inc.
- Mintati, S. 2002. *Penjernihan Effluent IPAL Industri Gula Tebu dengan Bioreaktor*, Bandar Lampung.
- Quang, N.T. 1986. *Tapioca starch Wastewater Treatment by Aerobic Fluidized Bed Process*. Master Thesis, AIT, Bangkok: EV 86-4.
- Salim, J. 2001. Developing national capability to implement clean development mechanism (CDM) in ASEAN, ASEAN CDM Ins. Program, UNIDO
- Saputra. 2007. *Karakterisasi Perombakan Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB)*, Laporan Penelitian. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Schmidt, J.E. & Ahring, K. 1996. Granular sludge formation in UASB reactors, *Biotech. Bioeng.*, 49: 229-246.
- Singh, R.P., Kumar, S. & 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. 107-119.
- Singh, R.P., Kumar, S. & Ojha, C.S.P. 1999. Nutrient requirement for UASB process: A Review, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 3, pp. 35-54.
- Uemura, S. & Harada, H. 1995. Inorganic composition and microbial characteristic of methanogenic granular sludge grown in a thermophilic UASB reactor, *Appl. Micr. and Biotech.*, Vol. 43, pp. 358-364
- Wah, W.P., Sulaiman, N.M., Nachiappan, M., & Varadaraj, B. 2002. Pre-treatment and membrane ultrafiltration using treated palm oil mill effluent (POME), *Songklanakarin J. Sci. Tech.*, Vol. 24 (suppl), pp. 891-898
- Wiegant, M.W. & de Man, A.W.A. 1980. Granulation of biomass in thermophilic UASB reactors treating acidified wastewaters, *Biotech. and Bioeng.* 28: 718-727
- Widyantoro, A. 2008. *Karakterisasi Campuran Limbah Cair Industri Dengan Menggunakan Reaktor UASB dengan variasi COD Tinggi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Wu, W.M., Hu, J., Gu, X., Zhao, H. & Gu, G. 1987. Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed, *Wat. Res.*, 21 (7): 787-799