

BIODEGRADASI SENYAWA ORGANIK DAN AMONIUM DALAM LIMBAH CAIR INDUSTRI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN SISTEM PERTUMBUHAN MIKROORGANISMA TERLEKAT

[Biodegradation of Organic Compound and Ammonium of Sawit Palm Oil Industry Wastewater
by Microorganism Attachment Growth System]

Dwi Agustiyani ✉ dan Hartati Imamuddin

Balitbang Mikrobiologi-Puslitbang Biologi-LIPI, Bogor

ABSTRACT

Efficiency of biodegradation of organic carbon and ammonium of sawit palm oil industry wastewater was investigated by using batch reactor with fluidized porous support particles. Two bioreactors, each had an effective volume of 3.0 L, were operated in parallel. Bioreactor-I is a batch reactor with fluidized porous support particles and bioreactor-II is a suspended growth reactor. The wastewater consisting of 1500-2000 mg/L COD and 50-60 mg/L nitrogen was fed by fill and draw mode with one cycle per day, where 1.5 L treated water was drawn before adding the new wastewater. Efficiency of COD degradation and nitrification were calculated by measuring concentration of COD, ammonium-N, nitrite-N and nitrate-N. The experimental results showed that efficiency of COD degradation and nitrification tend to be higher in the bioreactor-I than in the bioreactor II. The highest efficiency of COD degradation in the reactor-I was 83.7% and in the bioreactor-II was 63.44 %. The highest efficiency of nitrification in the bioreactor-I and bioreactor-II was 76.72% and 56%, respectively. Ammonium removal occurred in the bioreactor might not only by biological nitrification, but also by other physical or chemical processes.

Kata kunci/ Keywords: biodegradasi/ biodegradation, komponen organik/ organic compound, amonium/ ammonium, bioreaktor/ bioreactor, terfluidasi/ fluidized, sistem pertumbuhan mikroorganisma terlekat /microorganism attachment growth system, minyak kelapa sawit/sawit palm oil.

PENDAHULUAN

Industri minyak kelapa sawit adalah industri hasil pertanian yang selama proses produksinya banyak menghasilkan air buangan yang memiliki kandungan TSS (*Total Suspended Solid*), COD, BOD₅ dan amonia cukup tinggi. Pengolahan air buangan dengan beban organik tinggi secara anaerobik merupakan sistem yang efektif (Met Calf dan Eddy, 1991). Namun demikian tidak semua senyawa organik dan senyawa pencemar lainnya, seperti amonia, dapat didegradasi secara anaerobik, sehingga pengolahan lanjutan secara aerobik masih diperlukan. Sistem lumpur aktif konvensional dengan kolam tunggal merupakan sistem pengolahan secara aerobik yang banyak diaplikasikan dalam industri minyak kelapa sawit. Namun di samping memerlukan area lahan yang cukup luas, sistem ini masih kurang efisien dalam menurunkan konsentrasi pencemar.

Untuk meningkatkan efisiensi sistem aerobik, suatu penelitian pengolahan limbah cair industri minyak kelapa sawit dirancang dengan

menggunakan bioreaktor pertumbuhan lekat terfluidasi dengan media poliuretan. Sistem pertumbuhan terlekat merupakan sistem yang menempatkan sel dalam suatu matriks sehingga ruang gerak sel menjadi terhambat, tetapi tidak mengurangi aktivitasnya (Tampion *et al*, 1987). Sistem pertumbuhan mikroba terlekat juga dikenal sebagai imobilisasi, sistem ini telah banyak diaplikasikan dalam proses biodegradasi senyawa-senyawa pencemar. Keunggulan dari sistem terlekat/imobilisasi antara lain adalah kemampuan sel dan bahan pendukungnya dalam menahan substrat sehingga mikroorganisma mempunyai cukup waktu untuk merombak substrat. Disamping itu, dalam sistem ini kecepatan pertumbuhan mikroorganisma dapat dimanipulasi sehingga tidak terpengaruh oleh *washing-out*, dan biomasa sel di dalam bioreaktor relatif lebih tinggi dan lebih stabil (Atkinson, 1984).

Penggunaan poliuretan untuk media perlekatan dan pertumbuhan mikroorganisma telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Dilaporkan, bahwa komunitas mikroorganisma yang berperan

dalam perombakan senyawa karbon dan nitrogen dapat tumbuh dan berkembang di dalamnya. Di samping itu, ukuran volume dan porositas poliuretan menentukan pola reaksi degradasi dari senyawa organik dan nitrogen (Xing *et al*, 1991 dan Agustiyani *et al*, 1994).

Pada penelitian ini dipelajari kemampuan bioreaktor dengan sistem pertumbuhan terlekat pada partikel poliuretan dalam proses degradasi senyawa organik dan amonium yang terkandung dalam limbah cair industri minyak kelapa sawit.

BAHAN DAN METODA

Kultur mikroba dan pembenihan

Populasi mikroba yang digunakan sebagai agen perombak diambil dari lumpur aktif Unit Pengolah Limbah (UPL) industri minyak kelapa sawit dan industri tekstil UNITEX. Pembenihan kultur mikroba dilakukan dalam tangki aerasi dengan pemberian umpan berupa limbah cair industri minyak kelapa sawit, dengan kadar COD sebesar + 500 mg/L dan garam-garam mineral yang mengandung KH_2PO_4 (12,6 mg/L), MgSO_4 (9,5 mg/L), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1,2 mg/L) dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,1 mg/L).

Pemeriksaan TSS (*Total Suspended Solid*) dilakukan secara rutin sampai mencapai fase keseimbangan maksimum, yaitu pada saat konsentrasi biomasa mikroba berkisar antara 2000-3000 mg/L.

Bioreaktor dan kondisi operasional

Bioreaktor yang digunakan dalam penelitian ini berupa tangki aerasi tunggal terbuat dari gelas berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Bioreaktor diisi dengan partikel poliuretan berbentuk kubus berukuran 1,5 cm x 1,5 cm x 1,5 cm dengan porositas 1,25 mm (Bioreaktor I). Sebagai pembanding digunakan bioreaktor tanpa media poliuretan (*suspended growth*) (Bioreaktor II). Total volume 3L dengan perbandingan volume partikel poliuretan dengan volume cairan limbah adalah 1:3. Aerasi di dalam bioreaktor

dipertahankan pada kisaran > 4 mg/L. Konsentrasi limbah cair industri minyak kelapa sawit diberikan secara bertahap dari 500-2000 mg/L COD dengan total nitrogen sekitar 50-60 mg/L. Bioreaktor dioperasikan secara *fill and draw* dengan siklus pemberian umpan 1 kali dalam 24 jam.

Aklisasi mikroorganisma

Mikroorganisma hasil pembenihan dimasukkan ke dalam bioreaktor yang telah diisi dengan poliuretan, sehingga mikroorganisma dapat tumbuh, melekat dan masuk kedalam pori-pori poliuretan. Selama tahap aklimasi dilakukan pengukuran biomasa mikroba/TSS (*Total Suspended Solid*), COD dan amonium. pH didalam bioreaktor dipertahankan pada kisaran 6-7.

Prosedur penelitian

Penelitian ini ~~Hiaksanalran~~ setelah nilai efisiensi penurunan COD di dalam bioreaktor mendekati suatu nilai terendah dengan fluktuasi COD mendekati 10%. Pada penelitian ini, perlakuan yang diujikan adalah **umur** lumpur, yaitu umur lumpur 6 dan 8 hari.

Parameter yang diukur adalah konsentrasi COD, amonium, nitrit, nitrat dan biomasa. Pengukuran COD dan amonium dilakukan setelah biomasa mikroba di dalam bioreaktor sudah stabil.

Pengukuran COD

Sampel sebanyak 2 ml dimasukkan ke dalam tabling COD kemudian ditambahkan 4 ml reagen COD dan 0,2 g HgSO_4 , ditutup rapat dan dikocok. Setelah itu, larutan tersebut dipanaskan selama 2 jam pada suhu 150°C, didiamkan sampai dingin, dan kemudian diamati dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm (Greenberg *et al.*, 1992)

Penentuan Amonium ($\text{NH}_4\text{-N}$)

Sampel sebanyak 1 ml diencerkan menjadi 10 ml dengan air suling bebas amonia dimasukkan dalam tabung reaksi. Setelah itu, ke dalam tabung

ditambahkan 1-2 tetes larutan K-Na tartat, dikocok kuat-kuat, kemudian ditambahkan 0,2 ml pereaksi Nessler. Larutan tersebut kemudian didiamkan selama kurang lebih 10 menit hingga pembentukan waraa menjadi sempurna. Absorbansinya diukur pada panjang gelombang 420 nm. Blanko dan nilai absorbansi standar ditentukan dengan cara yang sama. Konsentrasi N-NH₃ dalam sampel ditentukan dengan kurva standar yang telah dikoreksi dengan blanko (Greenberg *et al.*, 1992)

Penentuan konsentrasi Nitrit (NO₂)

Sampel sebanyak 1 ml yang telah disaring diencerkan menjadi 10 ml dengan air suling bebas nitrit dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Ditambahkan 0,2 ml larutan sulfanilamid, kemudian larutan tersebut dibiarkan selama 2 menit dan tidak lebih dari 8 menit sehingga terjadi reaksi secara sempurna. Kemudian ditambahkan 0,2 ml larutan Ethylenediamine dan segera dikocok. Larutan tersebut kemudian didiamkan selama 10 menit, dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 543 nm (Greenberg *et al.*, 1992)

Penentuan konsentrasi Nitrat (NO₃)

Sampel sebanyak 4 ml dimasukkan ke dalam tabung reaksi besar. Ditambahkan kedalam tabung reaksi 0,8 ml NaCl dan 4 ml larutan Asam sulfat, kemudian diaduk perlahan-lahan sampai dingin.

Setelah dingin ditambahkan 0,2 ml larutan campuran Brusin-Asam sulfanilat, diaduk perlahan-lahan dan dipanaskan di atas penangas air pada suhu tidak melebihi 95°C selama 20 menit. Kemudian didinginkan dan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 410 nm (Anonim, 1990).

Penentuan Efisiensi Proses Nitrifikasi

Efisiensi nitrifikasi dapat dihitung berdasarkan 2 metoda (Wisjnuprapto, 1990), yaitu :

Metode I:

$$TIN(\%) = \frac{(NH_4-N)_{in} - (NH_4-N)_{ef}}{(NH_4-N)_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

TIN (%) = Efisiensi nitrifikasi %
(NH₄-N)_{in} dan _{ef} = Konsentrasi amonia pada influen dan efluen (mg/L)

Metode II:

$$\eta_N(\%) = \frac{[(NO_3-N) + (NO_2-N)]_{ef}}{[(NO_3-N) + (NO_2-N)]_{ef} + (NH_4-N)_{ef}} \times 100\%$$

Keterangan:

TIN (%) = Tingkat efisiensi nitrifikasi (%)
(isfO₂-N) = Konsentrasi nitrit-nitrogen di efluen (mg/L)
(NO₃-N) = Konsentrasi nitrat-nitrogen di efluen (mg/L)

HASIL

Biomasa mikroorganisma

Hasil pengukuran biomasa mikroba (TSS) secara berkala pada saat aklimasi dicantumkan pada Tabel 1.

Dari Tabel diatas dapat ditunjukkan bahwa pada Bioreaktor-I biomasa mikroorganisma tersuspensi mengalami penurunan pada hari ke 4, yaitu dari 2,72 g/L menjadi 2,14 g/L. Terjadinya penurunan biomasa ini mengindikasikan bahwa mikroorganisma dalam suspensi sudah mulai masuk dan melekat pada partikel poliuretan. Terlihat pula bahwa sampai hari ke 20, biomasa pada poliuretan terus meningkat dan stabil pada hari ke 28 atau setelah lebih kurang 1 bulan aklimasi. Dalam interval waktu yang sama biomasa tersuspensi juga meningkat dan stabil setelah 1 bulan aklimasi. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa masuknya sebagian mikroorganisma

Tabel 1. Perubahan biomasa mikroorganisma pada saat aklimasi

Waktu (hari)	Bioreaktor I			Bioreaktor II	
	Terlekat (g/3,375 ml)	Tersuspensi (g/L)	Total	Tersuspensi (g/L)	total
0		2,72	8,16	2,93	8,79
4	0,0121	2,14	7,50	3,23	9,69
8	0.0366	2,91	14,67	4,91	14,73
14	0,0975	6,14	35,46	11,34	34,02
20	0,1245	8,1	45,86	10,93	32,79
28	0,1243	8,14	45,91	10,89	32,67

Tabel 2. Biomasa mikroorganisma tersuspensi pada bioreaktor I danII

Pengamatan	Biomasa	
	Bioreaktor I (mg/L)	Bioreaktor II (mg/L)
1	9.34	5.95
2	8.815	5.49
3	8.055	5.555
4	8.925	5.35
5	7.08	5.78
6	7.08	5.78

Tabel 3. Efisiensi Penurunan COD di Bioreaktor I dan II pada umur lumpur 6 hari

Pengamatan	Tangki I			Tangki II		
	COD Umpan (mg/L)	COD Keluaran (mg/L)	Efisiensi (%)	COD Umpan (mg/L)	COD Keluaran (mg/L)	Efisiensi (%)
1	2269,8	431,8	80,97	1443,3	900,5	37,6
2	2319,2	542,8	76,59	2097,0	1332,3	36,46
3	1603,7	271,4	83,07	1825,7	740,2	59,45
4	1973,8	370,1	81,24	1504,2	1149,8	23,56
5	2102,3	467,2	77,78	1990,5	1421,5	28,58
6	1720,6	467,2	72,85	1448,3	529,5	63,44

Tabel 4. Efisiensi Penurunan COD di Bioreaktor I pada umur lumpur 8 hari

Pengamatan	Bioreaktor I		
	COD Umpan (mg/L)	COD Keluaran (mg/L)	Efisiensi (%)
1	2208,2	1402,1	36,5
2	2316,7	1538,5	33,59
3	2269,4	1442,9	36,41

Tabel 5A. Efisiensi Penurunan Amonium di Bioreaktor I dan II pada umur lumpur 6 hari dengan metoda I

Pengamatan	Bioreaktor I			Bioreaktor II		
	N-NH ₄ umpan (mg)	N-NH ₄ keluaran (mg)	Efisiensi (%)	N-NH ₄ umpan (mg)	N-NR, keluaran (mg)	Efisiensi (%)
1	38.81	15.66	59.64	34.11	16.63	51.24
2	37.71	12.37	67.2	28.75	12.65	56
3	41.58	11.85	71.5	23.22	14.66	36.86
4	41.88	9.75	76.72	20.51	10.83	47.2
5	41,22	12,37	69,99	37,9	21,09	44,35
6	27.36	9.6	64,91	26.35	11.86	55

Keterangan: Tingkat efisiensi yang didapat dengan metode I merupakan gabungan antara hasil proses asimilasi oleh mikroba heterotrof dan proses nitrifikasi oleh mikroba autotrof.

Tabel 5B. Efisiensi Penurunan Amonium di Bioreaktor I pada umur lumpur 8 hari dengan metoda I

Pengamatan	Bioreaktor I		
	N-NR, umpan (mg)	N-NH ₄ keluaran (mg)	Efisiensi (%)
1	32,71	12,72	61,1
2	32,73	16,68	49,04
3	29,79	14,61	50,96
4	27,92	10,96	60,74

Tabel 5C. Efisiensi Nitrifikasi di Bioreaktor I dengan Metode II

Umur lumpur (hari)	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Efisiensi
	Keluaran (mg/L)	Keluaran (mg/L)	Keluaran (mg/L)	Nitrifikasi (%)
6 hari	6,11	4,12	9,3	52,4
6 hari	6,23	4,21	9,6	52,1
8 hari	5,22	0,37	10,96	30,21
8 hari	6,09	1,27	14,60	33,51

Keterangan : Tingkat efisiensi yang didapat dengan metoda II hanya menghitung tingkat efisiensi untuk proses nitrifikasi saja, tanpa mengikutsertakan proses asimilasi oleh mikroba heterotrof.

tersuspensi kedalam poliuretan tidak mempengaruhi konsentrasi dan pertumbuhan bakteri tersuspensi. Hal ini mungkin dikarenakan mikroba yang masuk ke dalam poliuretan mempunyai ruang tersendiri untuk tumbuh dan berkembang didalamnya sehingga tidak mempengaruhi area pertumbuhan bakteri tersuspensi. Sampai 1 bulan aklimasi, biomasa mikroorganisma total di dalam Bioreaktor-I lebih tinggi dibandingkan dengan di Bioreaktor-II. Ini menunjukkan bahwa dengan sistem pertumbuhan terlekat memungkinkan pertambahan jumlah mikroorganisma yang lebih tinggi.

Hasil pengukuran biomasa mikro-organisma tersuspensi di bioreaktor I dan II setelah diperlakukan dengan umur lumpur dicantumkan pada Tabel 2.

Dari Tabel di atas dapat ditunjukkan bahwa biomasa tersuspensi di Bioreaktor-I masih lebih tinggi dibandingkan dengan di Bioreaktor-II. Data ini lebih mempertegas bahwa jumlah biomasa mikroba di bioreaktor bermedia poliuretan (Bioreaktor I) jauh lebih tinggi.

Efisiensi penurunan konsentrasi COD

Hasil pengukuran konsentrasi COD selama percobaan dicantumkan pada Tabel 3 dan 4.

Efisiensi penurunan COD pada Bioreaktor-I, dengan umur lumpur 6 hari berkisar antara 72,85 - 83,07%, sedangkan pada Bioreaktor-II, berkisar antara 23,56 - 63,44% (Tabel 3). Dengan demikian efisiensi penurunan COD pada bioreaktor bermedia poliuretan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor dengan sistem pertumbuhan tersuspensi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya jumlah biomasa mikroba di bioreaktor I sehingga aktivitas mikroba didalam bioreaktor meningkat.

Dengan perlakuan umur lumpur 8 hari, efisiensi penurunan COD di bioreaktor I berkisar antara 33,59% - 36,5% (Tabel 4). Dengan demikian efisiensi penurunan COD dengan perlakuan umur lumpur 8 hari lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan umur lumpur 6 hari.

Efisiensi nitrifikasi

Hasil pengukuran efisiensi nitrifikasi selama percobaan dicantumkan pada Tabel 5A, 5B dan 5C. Seperti tampak pada Tabel 5A, 5B dan 5C, efisiensi penurunan amonium pada bioreaktor-I dengan perlakuan umur lumpur 6 hari berkisar antara 59,64 - 76,72%, sedangkan pada bioreaktor II antara 36,86 - 56%. Dengan demikian efisiensi penurunan amonium pada bioreaktor bermedia poliuretan lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor tanpa poliuretan (Tabel 5). Di samping itu ditunjukkan bahwa efisiensi penurunan amonium di bioreaktor I pada perlakuan umur lumpur 8 hari lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan umur 6 hari yaitu 49-60,74% (tabel 6).

PEMBAHASAN

Kepadatan biomasa yang diukur sebagai TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan indikator adanya mikroorganisme aktif, dan kepadatan biomasa memegang peranan penting didalam proses biologis dalam bioreaktor. Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa biomasa pada bioreaktor dengan sistem pertumbuhan terlekat (Bioreaktor I) lebih tinggi dibandingkan dengan pada bioreaktor dengan sistem pertumbuhan tersuspensi (bioreaktor II). Hal ini mungkin disebabkan di dalam

Bioreaktor I tersedia area pertumbuhan mikroba lebih luas yang memungkinkan mikroba tumbuh dan berkembang lebih baik. Kepadatan biomasa di dalam bioreaktor juga menyebabkan efisiensi degradasi senyawa pencemar lebih tinggi. Menurut Metcalf dan Eddy (1991), laju nitrifikasi dan penurunan senyawa organik dipengaruhi oleh luas permukaan media yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk melekat, tumbuh dan melakukan aktivitasnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD dan amonium di bioreaktor I lebih tinggi dibandingkan dengan di bioreaktor II (Tabel 3 dan 5). Konsentrasi biomasa didalam bioreaktor juga berpengaruh terhadap aktivitas maupun efisiensi karena adanya eksese sludge yang terjadi. Atas dasar itulah maka konsentrasi biomasa perlu dikendalikan. Pengendalian konsentrasi biomasa dilakukan dengan mengatur umur lumpur di dalam bioreaktor. Dengan mengatur umur lumpur maka pertumbuhan spesifik mikroba didalam sistem menjadi terkontrol (Cakiki dan Bayramoglu, 1995 dalam Kalsum, 1996). Dari hasil pengamatan ditunjukkan bahwa umur lumpur sangat berpengaruh pada aktivitas penurunan COD maupun Amonium. Seperti terlihat pada Tabel 3, 4, 5 dan 6, efisiensi penurunan konsentrasi COD dan amonium dengan perlakuan umur lumpur 6 hari lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan umur lumpur 8 hari, walaupun konsentrasi biomasa pada perlakuan umur lumpur 8 hari lebih tinggi (data tidak dicantumkan).

Hasil perhitungan efisiensi penurunan amonium/efisiensi nitrifikasi dengan metoda I (Tabel 5 dan 6) mencapai 76%, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metoda II yang hanya mencapai 52% (Tabel 7). Dari data ini dapat disimpulkan bahwa penurunan amonium di dalam bioreaktor tidak hanya disebabkan oleh aktivitas bakteri nitrifikasi, tetapi juga oleh asimilasi oleh bakteri heterotrof. Efisiensi penurunan amonium oleh aktivitas nitrifikasi di dalam sistem hanya mencapai + 50%, sedangkan sisanya (26%)

sebagian mungkin diasimilasi oleh bakteri heterotrof dan sebagian lain mungkin oleh proses kimia atau fisika yang terjadi didalam bioreaktor.

Efisiensi penurunan amonium pada berbagai perlakuan relatif lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi penurunan COD. Kenyataan ini menunjukkan bahwa komunitas mikroba yang ada di dalam bioreaktor lebih di dominasi oleh bakteri heterotrof. Hal ini beralasan karena bakteri autotrof tumbuh sangat lambat sehingga terkompetsi oleh bakteri heterotrof. Bakteri heterotrof berperan pada proses penguraian organik sedangkan bakteri autotrof berperan dalam proses nitrifikasi. Kedua jenis bakteri tersebut memerlukan oksigen untuk proses metabolisme, namun aktivitas nitrifikasi sangat dibatasi ketersediaan oksigen. Dilaporkan bahwa konsentrasi oksigen terlarut diatas 1 mg/L cukup baik untuk proses nitrifikasi (Metcalf dan Eddy, 1991). Konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) di dalam bioreaktor yang digunakan dalam penelitian berkisar antara 4 - 6 mg/L pada bioreaktor I dan 6 - 7 mg/L pada bioreaktor II (data tidak ditampilkan). Kisaran ini sebenarnya cukup baik untuk proses nitrifikasi, namun demikian hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi nitrifikasi di dalam bioreaktor I hanya mencapai rata-rata sekitar 50 %, dan efisiensi maksimum yang dapat dicapai sekitar 77%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa efektivitas nitrifikasi di dalam bioreaktor belum optimal. Hal ini mungkin disebabkan jumlah bakteri nitrifikasi di dalam bioreaktor rendah atau karena terhambatnya difusi oksigen akibat akumulasi bakteri heterotropik di bagian luar flok dan poliuretan. Hasil yang senada dilaporkan Rittman dan Manem (1992) mengenai terhambatnya proses nitrifikasi pada sistem biofilm. Mengenai populasi bakteri nitrifikasi di dalam bioreaktor, belum ada laporan yang pasti mengenai jumlah optimal yang harus dicapai. Hasil penelitian Okabe *et al*, 1995, menunjukkan bahwa nitrifikasi sangat lambat dan tidak stabil walaupun jumlah bakteri nitrifikasi mencapai 10^7 — 10^8 MPN/cm³. Hal tersebut disebabkan di dalam sistem

biofilm, populasi bakteri heterotropik mengkompetisi bakteri nitrifikasi dalam hal oksigen dan ruang, yang mengakibatkan terhambatnya proses nitrifikasi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kepadatan biomasa pada bioreaktor dengan sistem pertumbuhan terlekat (Bioreaktor I) lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan dengan bioreaktor dengan sistem pertumbuhan tersuspensi. Demikian juga efisiensi penurunan konsentrasi COD dan amonium di bioreaktor dengan sistem pertumbuhan terlekat (Bioreaktor I) lebih tinggi dibandingkan dengan di bioreaktor dengan sistem pertumbuhan tersuspensi. Ditunjukkan juga bahwa perlakuan umur lumpur 6 hari memperlihatkan hasil yang lebih baik dalam penurunan konsentrasi COD dan amonium dibandingkan dengan perlakuan umur lumpur 8 hari.

Pada sistem pertumbuhan terlekat (Bioreaktor I) ditunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi penurunan amonium. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa penurunan konsentrasi amonium didalam bioreaktor tidak hanya disebabkan oleh aktifitas nitrifikasi, namun juga disebabkan oleh asimilasi bakteri heterotrof atau hilang oleh proses kimia/fisika yang terjadi di dalam bioreaktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyan D, XH Xing, N Shiragami and H Unno. 1994.** Distribution of Microbial Species Retained in Porous Substratum Capable of Simultaneous Removal of Organic and Nitrogenous Substances in Wastewater. *Proceedings of the Third Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference*. Singapore, 835-837.
- Anonim, 1990.** Kumpulan SNI Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air. Departemen Pekerjaan Umum.
- Atkinson B. 1984.** Immobilized Cells, Their Application and Potential. Dalam: *Process Engineering Aspects of Immobilized Cell*

- Systems. C Webb, GM Black, and B Atkinson (Editor). The institution of Chemical Engineers, Warwickshire, England.
- Benefield LD and CW Randal. 1980.** *Biological Process Design for Wastewater Treatment* 10th edition. Prentice-Hall, Englewood Clifft.
- Djajadiningrat, Asis H dan Wisjnuaprpto. 1990.** *Bioreaktor Pengolah Limbah Cair*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Greenberg AE, LS Clesceri and AD Eaton, 1992.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington DC.
- Grady CPL and HC Lim. 1980.** *Biological Wastewater Treatment Teory and Application*. Marcel Dekker, New York.
- Green JH and A Kramer. 1979.** *Food Processing Waste Management*. Avi Publishing Company, Westport.
- Junkins R, Deey K and T Eckhoff. 1980.** *The Activated Sludge Process Fundamental of Operation*. West Chester, Weston.
- Jutono. 1980.** *Pedoman Praktikum Mikrobiologi Umum (Untuk Perguruan Tinggi)*. Departemen Mikrobiologi, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kalsum L. 1996.** *Studi Kinetika Pengolahan Air Buangan Industri Minyak Kelapa Sawit Dalam Proses Kontak Stabilisasi. Tests Magister Program Studi Teknik Lingkungan*, ITB.
- Met Calf and Eddy.1991.** *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 2nd ed. Singapore, McGraw Hill.
- Nicol JP, DB Larry, DW Edward and AH James. 1987.** *Activated Sludge System with Biomassa Particle Support Structures. Biotechnology and Bioengineering* 31, 682-695
- Okabe S, Y Ozawa, K Hirata and Y Watanabe. 1995.** *Relationship Between Population Dynamics of Nitrifiers in Biofilm and Reactor Performance at Various C:N Ratios. Wat. Res.* 30, 1563-1572.
- Okabe S, K Hirata and Y Watanabe. 1995.** *Dynamic Changes in Spatial Microbial Distribution in Mixed Population Biofilms: Experimental Results and Model Simulation. Proceedings of International Workshop on Biofilm Structure, Growth and Dynamics*, pp. 59-66. Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Rittman BE and Manem JA. 1992.** *Development and Experimental Evaluation of a Steady-State, Multispecies Biofilm Mode. Bwtechnol. Bioeng.* 39, 914-9221.
- Tampion J and DM Tampion. 1987.** *Immobilized Cell: Principles and Applications*. Cambridge. New York.
- Xing XH, Honda H, Shiragami N, Unno H. 1991.** *Characteristics of Microbial Community Retained in Porous Support Particles for Degradation of Organic Waste water. Kagaku Kogaku Ronbunshu (in Japanese).* 17, 524-530.
- Tebbut THY. 1977.** *Principles of Water Quality Control*. Pergamon. New York.
- Wesley EW Jr. 1991.** *Principles of Water Quality Management*. Krieger, Florida.