

PROSIDING

6.

SEMINAR HASIL PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN BIOTEKNOLOGI III

Cibinong, 7 - 9 Maret 2000

Penyunting :

Ketua : Muhammad Ahkam Subroto
Anggota : Tri Muji Ermayanti
Nita Rosalinda Prayitno
Yantyati Widyastuti
Djadjat Tisnadjaja
Inez Hortense Slamet-Loedin
Endang Sukara

Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

2000



Surat Pendokumentasian Karya Ilmiah
Nomor : 391/B.6.3 /PP/2009

Karya ilmiah/hasil penelitian atau hasil pemikiran yang tidak dipublikasikan, dengan judul :

Studi Proses Penyisihan Senyawa Nutrien dari Limbah Cair Industri Karet Ala Jenis Ribbed Smoked Sheet (RSS) Pada Beberapa Konfigurasi Reaktor Tiga Tahap. 2000

Penulis : Tanto P Utomo, M. Romli, Anas Miftah Fauzi, Andes Ismayana.

Didokumentasikan di Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Ketua

Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
NIP. 131841749

S. Nuswantara, H. Karsono, H. I. Sukiman, D. Ariani, H. Kobayashi dan Y. Murooka: Integrasi kromosomal dan ekstra-kromosomal gen penyandi <i>green fluorescent protein (gfp)</i> pada <i>Rhizobium</i>	149
D. Tisnadaja dan H. Wahyudi: Studi biodegradasi senyawa pestisida metamidofos dan metidation dengan menggunakan bakteri yang diperoleh dari sayuran.....	155
Djarwanto dan S. Suprati: Biokonversi limbah penggergajian oleh shiitake (<i>Lentinula edodes</i>).....	167
T. P. Utomo, M. Romli, A.M. Fauzi, dan A. Ismayana: Studi proses penyisihan senyawa nutrien dari limbah cair industri karet alam jenis <i>ribbed smoked sheet (RSS)</i> pada beberapa konfigurasi reaktor tiga tahap	177
M. Udiharto: Penerapan bioteknologi untuk pengolahan air limbah suatu lapangan migas.....	185
Kusmiati, F. Ekawati dan Y. Widyastuti: Aktivitas CMCase bakteri selulolitik yang berasal dari sumber air panas.....	195
T. Khusniati: Pertumbuhan bakteri dan aktivitas lipase pada susu skim dan susu lemak setelah diinokulasi <i>Pseudomonas</i> spp.	205
J. M. Amin, D. Mangunwidjaja, A. Suryani dan M. Romli: Kinetika fermentasi <i>Bacillus</i> sp. BMN 14 pada sistem dua fase cair (peg-fosfat) untuk produksi biosurfaktan	213

IV. MAKALAH PRESENTASI LISAN:

B. Kelompok Tanaman

E. Sudarmonowati, N.S. Hartati, A. Fahnidar, B.H. Narendra dan U.J. Siregar: Keragaman genetik beberapa tanaman kehutanan: membandingkan teknik isozim, RAPD, dan AFLP	223
D. Asmono, P. J. Freymark, J. B. Holland and M. Lee: Genetic analysis of quantitative trait loci associated with plant stature and flowering traits of an F ₂ maize population	233
Y. Nuryani, C. Syukur dan N. Toruan: Analisis keragaman genetik nilam dengan teknik <i>randomly amplified polymorphic DNA (RAPD)</i>	251
N. Bermawie, Syafaruddin dan Susiyanti: Identifikasi penanda ketahanan terhadap cekaman aluminium (Al) pada tanaman lada (<i>Piper nigrum</i> L.) dengan isozim.....	261
N. Toruan-Mathius dan Nurhaimi-Haris: Analisis biomolekul sifat kopyor pada tanaman kelapa (<i>Cocos nucifera</i> L.)	271
M. A. Subroto, D. Sudrajat, A. Djanakum dan E. Widayat: Peningkatan efisiensi regenerasi akar rambut <i>Solanum nigrum</i> L. melalui induksi dengan hormon eksogen	279
T. M. Ermayanti, E. M. R. Siregar dan L. Sari: Pengaruh jenis substrat terhadap perakaran dan daya hidup planlet beberapa jenis tanaman.....	289
T. Chaidamsari, A. Budiani, dan Siswanto: Transformasi dan Ekspresi transien GUS pada eksplan kopi Arabika	297
M. Kosmiatin, I. Mariska, A. Husni, Y. Rusyadi, Hobir dan M. Tombe: Seleksi silang terhadap filtrat <i>Fusarium oxysporum</i> pada tunas panili yang tahan fusaric acid	303
Siswanto: Solubilisasi, delipidasi dan reaktivasi enzim pirofosfatase membran latoid dari lateks <i>Hevea brasiliensis</i>	309

STUDI PROSES PENYISIHAN SENYAWA NUTRIEN DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI KARET ALAM JENIS *RIBBED SMOKED SHEET* (RSS) PADA BEBERAPA KONFIGURASI REAKTOR TIGA TAHAP

Tanto P. Utomo¹, M. Romli², A.M. Fauzi², dan A. Ismayana³

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung
²CDSAP-IPB, Gedung FATETA, Kampus IPB, Darmaga, PO BOX 220, Bogor,
Telp. (0251) 627 830, Fax. (0251) 627 830, E-mail: cdsapipb@indo.net.id
³Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fateta IPB

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian proses pengolahan limbah cair industri pengolahan karet alam jenis *ribbed smoked sheet* (RSS) menggunakan reaktor tiga tahap pada konfigurasi reaktor yang berbeda sehingga dihasilkan keluaran dengan konsentrasi senyawa nutrisi yang memenuhi persyaratan. Reaktor tiga tahap yang digunakan terdiri dari tahap anaerobik, aerobik, dan anoksik dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) masing-masing adalah 24, 12, dan 12 jam. Konfigurasi reaktor tiga tahap yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik; dan anaerobik-anoksik-aerobik tanpa proses *recycle*. Proses pengolahan dilakukan secara biologis menggunakan lumpur aktif yang diperoleh dari saluran pembuangan di sekitar pabrik pengolahan karet. Limbah cair industri pengolahan karet alam jenis RSS yang digunakan mempunyai karakteristik sebagai berikut: pH 5,5-5,9; COD: 2560-5000 mg/l; BOD: 1850-2500 mg/l; total nitrogen 230-400 mg/l; N-NH₃: 115-370 mg/l; N-NO₃: 1,3-6,7 mg/l; P-PO₄: 23-167 mg/l. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi *steady state* konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik dapat menurunkan COD, BOD, total Nitrogen, dan P-PO₄ masing-masing sebesar 93-99; 98-99; 50-61; dan 75-88%; kadar N-NH₃ dan N-NO₃ akhir masing-masing sebesar 135,18-156,21 mg/l dan 5,77-11,07 mg/l. Konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik dapat menurunkan COD, BOD, total Nitrogen, dan P-PO₄ masing-masing sebesar 95-98; 99; 59-82 dan 92-97%; kadar N-NH₃ dan N-NO₃ akhir masing-masing sebesar 40-72 dan 53-70 mg/l

Kata kunci: *Ribbed smoked sheet*, anaerobik, aerobik, anoksik

Abstract

Study on the nutrient removal process from natural rubber industry wastewater in different configurations of three stages reactor. The objective of this research was to study the nutrient removal process from natural rubber industry wastewater in different configurations of three stages reactor and to optimize the configuration of reactor to produce effluent with nutrient contents met the regulation standard. The three stages reactor consisted of anaerobic, aerobic, and anoxic reactors with hydraulic retention time (HRT) for each reactor of 24, 12, and 12 hours, respectively. The configuration of reactors were anaerobic-aerobic-anoxic without recycle and anaerobic-anoxic-aerobic without recycle. The natural rubber industrial wastewater used in this research has the following characteristics: pH 5.5-5.9; COD 2,560-5,000 mg/l; BOD: 1,850-2,500 mg/l; total Kjeldahl nitrogen (TKN) 230-400 mg/l which consisted of NH₃-N 115-370 mg/l and NO₃-N 1.3-6.7 mg/l; and PO₄-P 23-167 mg/l. The removal efficiency of experimentation under steady state condition of the reactor with configuration of anaerobic-aerobic-anoxic removed COD, BOD, TKN, and PO₄-P of 93-99; 98-99; 50-61; and 75-88%, respectively. NH₃-N and NO₃-N contents of 69-156 and 5.7-11.1 mg/l; whereas the one with the configuration of anaerobic-anoxic-aerobic removed COD, BOD, TKN, and PO₄-P of 95-98; 99; 59-82; and 92-97%, respectively. NH₃-N and NO₃-N contents of 40-72 and 53-70 mg/l.

Keyword: *Ribbed smoked sheet*, anaerobic, aerobic, anoxic

Pendahuluan

Salah satu tujuan proses pengolahan limbah secara biologis adalah untuk menghilangkan senyawa nutrisi yang terdapat dalam limbah tersebut. Senyawa nutrisi yang terdapat pada limbah menjadi perhatian setelah diketahui berperan dalam proses eutrofikasi perairan, mengakibatkan pertumbuhan ganggang secara pesat, menyebabkan kematian ikan, menyebabkan timbulnya bau yang menyimpang serta berbagai permasalahan biologis lainnya pada sistem perairan.

Senyawa makronutrien yang menyebabkan terjadinya proses eutrofikasi antara lain adalah senyawa fosfor dan nitrogen. Masuknya senyawa nutrisi tersebut ke dalam sistem perairan dapat berasal dari limbah domestik atau rumah tangga, industri, dan pertanian, termasuk limbah domestik yang telah mengalami pengolahan secara biologis. Proses penghilangan senyawa fosfor dapat dilakukan secara kimiawi menggunakan senyawa yang mengandung ion besi atau aluminium dan proses biologis; sedangkan senyawa nitrogen dapat dihilangkan dengan menggunakan proses *amonia stripping* dan secara biologis menggunakan proses nitrifikasi-denitrifikasi menggunakan lumpur aktif dan sistem biofilm.

Proses penghilangan senyawa nitrogen dan fosfor dapat dilakukan secara bersamaan dengan mengkombinasikan proses nitrifikasi-denitrifikasi dan proses penyisihan fosfor secara biologis seperti pada proses A²/O, Bardenpho, UCT, atau Phoredox. Perbedaan antar proses tersebut tergantung pada pengaturan susunan atau konfigurasi dan jumlah tahapan anaerobik-anoksik-aerobik serta jumlah dan tujuan dari aliran *recycle* (Lemke, 1992; Nathanson, 1997).

Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini dikembangkan teknik penghilangan senyawa nutrisi dari limbah pertanian yang ada di Indonesia dalam hal ini adalah limbah dari industri pengolahan karet alam. Limbah cair yang dihasilkan dari industri pengolahan karet alam banyak mengandung protein yang dihasilkan dari proses penggumpalan karet dan amonia yang digunakan untuk pengawetan lateks. Proses pengolahan limbah cair pabrik pengolahan karet alam di Indonesia dari hasil survei oleh Direktorat Jenderal Perkebunan pada tahun 1991 menunjukkan bahwa sebagian besar masih menggunakan kolam anaerobik dan fakultatif. Hal ini belum memadai untuk menurunkan tingkat pencemaran limbah karena proses fakultatif dan anaerobik hanya menurunkan kandungan karbon saja, sedangkan senyawa nitrogen dan fosfor masih relatif tinggi. Selain itu, di Indonesia pada umumnya belum dilakukan proses deamonifikasi dari limbah cair pabrik karet sehingga kandungan amonium limbah yang telah diolah masih relatif tinggi, sedangkan kandungan senyawa fosfor dalam bentuk ortofosfat diduga akan meningkat karena pada proses anaerobik yang menggunakan lumpur aktif akan terjadi proses pelepasan ortofosfat ke dalam cairan oleh mikroorganisme.

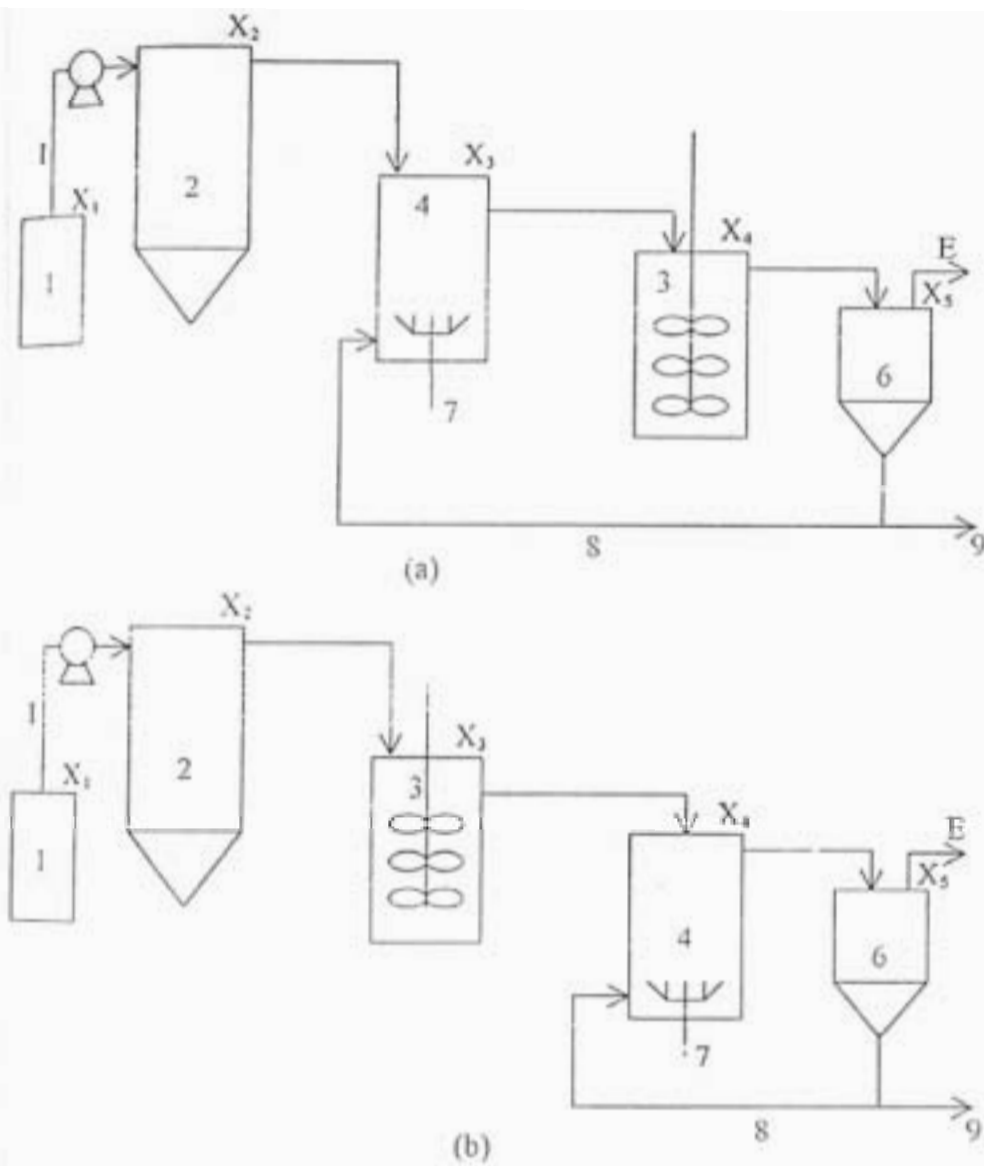
Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian proses penyisihan senyawa nutrisi menggunakan reaktor tiga tahap yang terdiri dari reaktor anaerobik, aerobik, dan anoksik pada konfigurasi yang berbeda untuk pengolahan limbah cair industri pengolahan karet alam jenis *ribbed smoked sheet* (RSS) sehingga dihasilkan keluaran dengan konsentrasi senyawa nutrisi yang memenuhi persyaratan.

Bahan dan Cara Kerja

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tiga buah reaktor dan satu penjernih yang terbuat dari *plexiglass* dengan kapasitas operasi masing-masing 5,6; 5,5 dan 2,4 liter, pasir kuarsa dengan diameter 0,2-0,5 mm digunakan sebagai media pembawa

pada reaktor anaerobik, asesori untuk reaktor, pompa peristaltik, pompa resirkulasi. Bahan baku limbah karet yang digunakan diperoleh dari PTP Nusantara VIII.

Reaktor anaerobik yang digunakan adalah reaktor unggun terfluidisasi, sedangkan reaktor aerobik dan anoksik yang digunakan merupakan reaktor teraduk sempurna. Pada reaktor aerobik suplai udara menggunakan aerator sedangkan pada reaktor anoksik dilakukan pengadukan pada kecepatan rendah. Inokulum berupa lumpur aktif yang digunakan diperoleh dari saluran pembuangan di sekitar pabrik pengolahan karet.



- Keterangan:
- | | |
|---|---|
| 1 = Tangki limbah cair | I = Influen |
| 2 = Reaktor anaerobik | E = Efluen |
| 3 = Reaktor anoksik | X ₁ = Daerah pengambilan sampel ke 1 |
| 4 = Reaktor aerobik | X ₂ = Daerah pengambilan sampel ke 2 |
| 5 = <i>Recycle effluent</i> (cairan temitrifikasi) | X ₃ = Daerah pengambilan sampel ke 3 |
| 6 = <i>Clarifier</i> | X ₄ = Daerah pengambilan sampel ke 4 |
| 7 = Suplai udara menggunakan aerator | X ₅ = Daerah pengambilan sampel ke 5 |
| 8 = <i>Recycle</i> lumpur aktif ke reaktor aerobik (jika perlu) | |
| 9 = Pembuangan lumpur | |

Gambar 1. Konfigurasi reaktor tiga tahap

Waktu tinggal awal pada reaktor anaerobik, anoksik, dan aerobik masing-masing adalah 24, 12, dan 12 jam. Pengamatan terhadap parameter kinerja dari masing-masing reaktor dilakukan pada daerah X₁, X₂, X₃, X₄, dan X₅ (Gambar 1 a dan b). Parameter yang diamati adalah pH, COD, BOD, nitrogen amonia, nitrogen nitrat, dan ortofosfat dan dilakukan karakterisasi limbah cair yang digunakan sebagai bahan baku penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik limbah

Karakteristik limbah cair industri karet alam jenis RSS yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan karakteristik tersebut diketahui bahwa limbah cair yang digunakan telah memenuhi persyaratan untuk terjadinya suatu aktivitas biologis oleh mikroorganisme dengan telah tersedianya komponen-komponen dasar yang diperlukan yaitu karbon, nitrogen, dan fosfor.

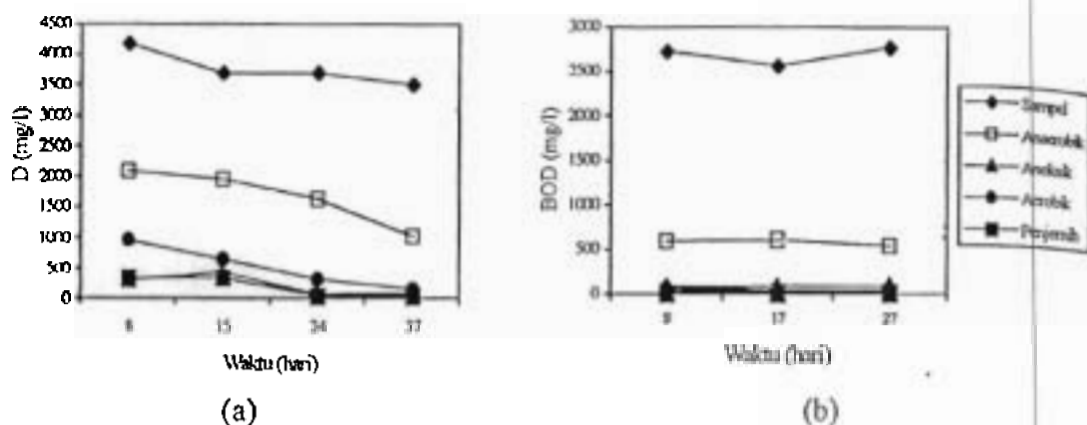
Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair industri pengolahan karet alam jenis RSS

Parameter	Kisaran nilai
COD (mg/l)	2560 – 5000
BOD (mg/l)	1850 – 2500
Total Nitrogen (mg/l)	230 – 400
NH ₃ -N (mg/l)	115– 370
NO ₃ -N (mg/l)	1,3– 6,7
PO ₄ -P (mg/l)	23 – 167
pH	5,5 – 5,9

pH

Nilai pH efluen limbah dari reaktor dengan konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik dan konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik disajikan pada Gambar 2a dan b. Kisaran pH yang terbentuk pada reaktor anaerobik pada kedua konfigurasi yaitu 7,37-7,5 dan 7,47-7,6 mendukung terjadinya reaksi pada kondisi optimal. Hal ini sesuai dengan pernyataan Metcalf & Eddy (1991) bahwa untuk menjaga kestabilan sistem anaerobik maka pH media harus dijaga pada kisaran 6,6-7,6. Disyanake (1987) dan House (1983) menyatakan bahwa pada pH 6,2 beberapa galur bakteri metanogenik yang peka terhadap penurunan pH mengalami keracunan dan mati pada pH di bawah 5,5; sedangkan bakteri asetogenik cukup toleran pada pH rendah. pH optimum untuk pertumbuhan bakteri metanogenik berkisar antara 6,8-8,5.

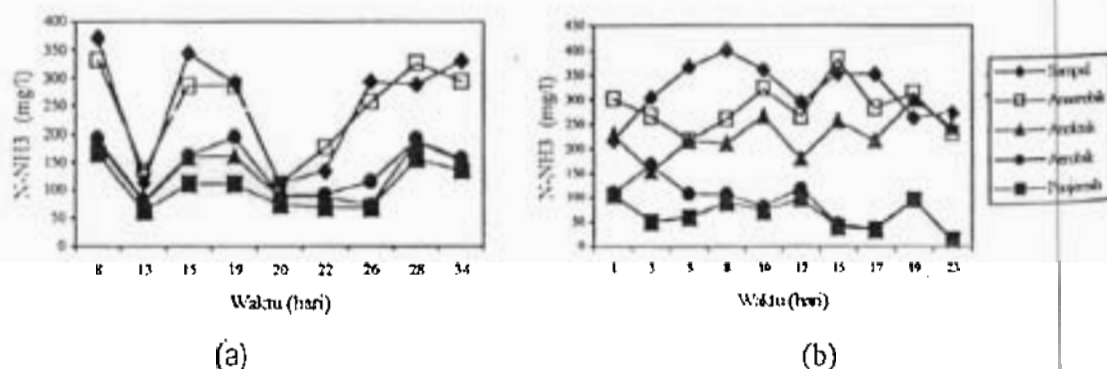
Nilai pH yang terbentuk untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi di dalam reaktor anaerobik dan anoksik pada konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik dengan kisaran 8,55-8,69 dan 8,59-8,60; sedangkan pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik dengan kisaran 8,23-8,65 dan 7,95-8,28. Kisaran pH pada proses nitrifikasi untuk kedua konfigurasi belum mendukung proses nitrifikasi yang optimal, karena pH yang terbentuk masih relatif tinggi. Grady & Lim (1980), menyatakan bahwa bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* yang berperan dalam proses nitrifikasi bekerja optimum masing-masing pada pH 7,0-8,0 dan 7,5-8,0. Kisaran pH pada proses denitrifikasi pada kedua konfigurasi belum mendukung proses denitrifikasi yang optimal karena pH yang terbentuk masih terlalu tinggi; Parker et al. (1975 dalam Grady & Lim, 1980) menyatakan laju denitrifikasi akan terhambat pada pH di bawah 6,0 dan di atas 8,0. Secara umum, pH efluen akhir yang dihasilkan dari kedua



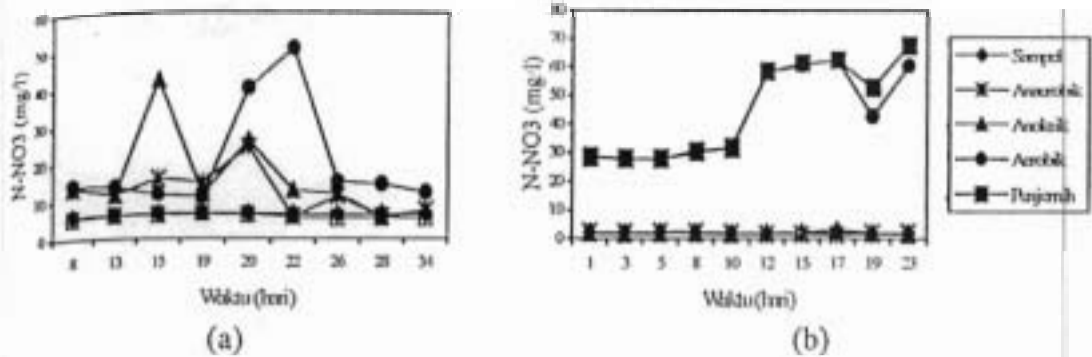
Gambar 4. Nilai BOD efluen dari konfigurasi reaktor anaerobik-aerobik-anoksik (a) dan konfigurasi reaktor anaerobik-anoksik-aerobik (b)

Nitrogen Amonia (N-NH₃) dan Nitrogen Nitrat (N-NO₃)

Proses nitrifikasi yang mengubah senyawa nitrogen amonia menjadi nitrogen nitrat berjalan baik pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik yang ditunjukkan oleh rendahnya kadar nitrogen amonia pada efluen akhir yang berkisar antara 14-40 mg/l, sedangkan pada konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik efluen akhir masih mengandung nitrogen-amonia yang tinggi yaitu berkisar antara 69-135 mg/l. Proses denitrifikasi berjalan lebih baik pada konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik yang ditandai dengan rendahnya kadar nitrogen nitrat yang berkisar antara 5,8-7,4 mg/l; sedangkan pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik proses denitrifikasi relatif tidak berjalan baik yang ditandai dengan tingginya kadar nitrogen nitrat yang berkisar antara 53-67 mg/l. Proses nitrifikasi dan denitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH dan karbon yang tersedia (Grady & Lim, 1980). Kisaran pH yang terbentuk pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik lebih mendukung proses nitrifikasi sedangkan tingginya kadar nitrogen nitrat disebabkan tidak berjalannya proses denitrifikasi yang baik dan hal ini dapat diatasi dengan melakukan umpan balik dari efluen reaktor aerobik ke reaktor anoksik. Diduga hal ini akan mampu menurunkan kadar nitrogen nitrat, karena diduga cukup tersedia komponen karbon tersisa pada efluen reaktor anaerobik.



Gambar 5. Kadar N-NH₃ efluen dari konfigurasi reaktor anaerobik-aerobik-anoksik (a) dan konfigurasi reaktor anaerobik-anoksik-aerobik (b)

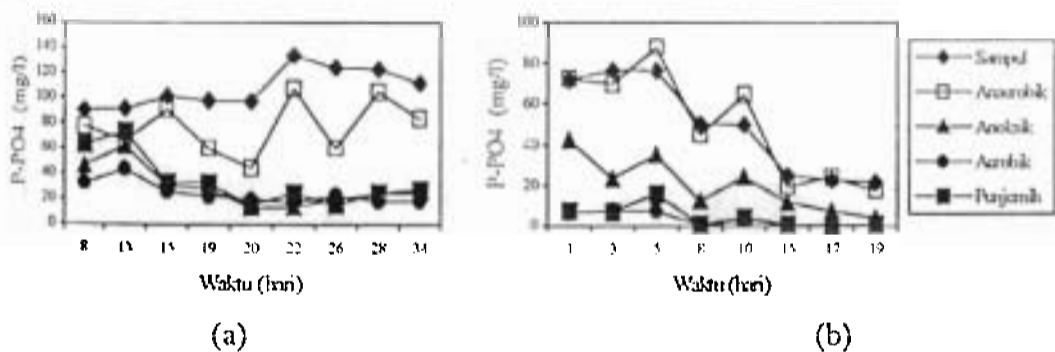


Gambar 6. Kadar N-NO₃ efluen dari konfigurasi reaktor anaerobik-aerobik-anoksik (a) dan konfigurasi reaktor anaerobik-anoksik-aerobik (b)

Kadar nitrogen amonia yang bersifat racun pada kedua konfigurasi masih di atas ambang yang diperkenankan pada SK MENKLH no. 03/MENKLH/II/1991, yaitu maksimal 10 mg/l; sedangkan kadar nitrogen nitrat pada kedua konfigurasi masih dapat menimbulkan gangguan yaitu menstimulasi pertumbuhan ganggang dan organisme akuatik lain dengan konsentrasi kritis 0,3 mg/l serta gangguan pada bayi (blue babbies) pada konsentrasi kritis 45 mg/l (Metcalf & Eddy, 1991).

Ortofosfat (P-PO₄)

Proses penyisihan senyawa ortofosfat pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik. Hal ini disebabkan senyawa ortofosfat digunakan oleh mikroorganisme aerobik dalam proses metabolismenya dengan tersedianya komponen karbon; sedangkan pada konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik kadar ortofosfat relatif lebih tinggi karena pada reaktor anoksik dan penjernih diduga terjadi pelepasan ortofosfat oleh mikroorganisme. Senyawa ortofosfat pada efluen akhir kedua konfigurasi masih dapat menimbulkan gangguan berupa stimulasi terhadap pertumbuhan ganggang dan organisme akuatik dengan konsentrasi kritis 0,015 mg/l (Metcalf & Eddy, 1991).



Gambar 7. Kadar P-PO₄ efluen dari konfigurasi reaktor anaerobik-aerobik-anoksik (a) dan konfigurasi reaktor anaerobik-anoksik-aerobik (b)

Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi *steady state* konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik dapat menurunkan COD, BOD, total Nitrogen, dan P-PO₄ masing-masing sebesar 93-99; 98-99; 50-61. dan 75-88%; kadar N-NH₃ dan N-NO₃ akhir

masing-masing sebesar 135,18-156,21 dan 5,77-11,07 mg/l. Konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik dapat menurunkan COD, BOD, total Nitrogen, dan P-PO₄ masing-masing sebesar 95-98; 99; 59-82; dan 92-97%; kadar N-NH₃ dan N-NO₃ akhir masing-masing sebesar 40-72 dan 53-70 mg/l. Proses denitrifikasi berlangsung lebih baik pada konfigurasi anaerobik-aerobik-anoksik, sedangkan proses nitrifikasi dan penyisihan ortofosfat berlangsung lebih baik pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik. Perlu dilakukan proses umpan balik (*recycle*) dari efluen reaktor aerobik ke reaktor anoksik pada konfigurasi anaerobik-anoksik-aerobik.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Dirjen Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Graduate Team Research Grant Batch IV, 1999/2000

Daftar Pustaka

- Disyanake, M.G. 1987. Biogas Production by Anaerobic Digestion. Thesis. AIT-Bangkok.
- Dirjen Perkebunan. 1991. Study of Pollution Control Requirements for Existing PTP Palm Oil and Rubber Factories.
- Grady, C.P.L. & H.C. Lim. 1980. Biological Wastewater Treatment: Theory and Application. Marcel Dekker, Inc. New York. 1980.
- House, D. 1983. Biogas Handbook. Peace Press. New York.
- Lemke, J.R. 1992. Modern Wastewater Technology. Dalam: Finn, RK. and P. Prave (Eds.), *Biotechnology Focus 3: Fundamentals. Application, Information*. Hanser Publishers. Munich.
- Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 1991. SK MenKLH no. 03/MENKLH/II/1991.
- Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- Nathanson, J.A. 1997. Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Management, and Pollution Control. Prentice Hall. New Jersey.

Diskusi

- Tidak ada -