

**STUDI PENYISIHAN NITROGEN
AIR LIMBAH AGROINDUSTRI HASIL PERIKANAN
SECARA BIOLOGIS DENGAN MODEL DINAMIK
ACTIVATED SLUDGE MODEL (ASM) 1**

BUSTAMI IBRAHIM



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2007**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi yang berjudul:

**Studi Penyisihan Nitrogen Air Limbah Agroindustri
Hasil Perikanan Secara Biologis Dengan Model
Dinamik *Activated Sludge Model (ASM) 1***

Adalah benar hasil karya sendiri dengan arahan dosen pembimbing dan belum pernah dipublikasikan. Disertasi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua sumber data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.

Bogor, Mei 2007

Bustami Ibrahim
NRP 985109

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

BUSTAMI IBRAHIM. Studi Penyisihan Nitrogen Air Limbah Agroindustri Hasil Perikanan Secara Biologis Dengan Model Dinamik *Activated Sludge Model (ASM) 1*. Dibimbing oleh DJUMALI MANGUNWIDJAJA, MUHAMMAD SRI SAENI, ANAS MIFTAH FAUZI, MUHAMMAD ROMLI dan MENNOFATRIA BOER

Pembangunan di sektor industri perikanan yang berkembang pesat diikuti juga oleh peningkatan produksi limbah cairnya. Limbah cair industri perikanan dicirikan dengan tingginya kandungan karbon organik dan nitrogen, sehingga dapat menyebabkan eutrofikasi, yang kemudian menyebabkan menurunnya nilai guna air, dan gangguan kesehatan seperti methemoglobinemia pada bayi, pembentukan senyawa karsinogenik nitrosamin, serta dapat menyebabkan gangguan fungsi jantung.

Penelitian ini bertujuan mempelajari penyisihan nitrogen dari limbah industri perikanan melalui proses anoksik-aerobik berdaur ulang dan pembuatan model simulasi dinamik dengan ASM1 (*Activated Sludge Model 1*), untuk dapat merancang proses penyisihan nitrogen air limbah industri perikanan secara optimal. Penelitian ini dilaksanakan melalui percobaan di laboratorium dan disimulasi dengan menggunakan Simulink yang dirancang dengan model dinamik ASM1. Percobaan di laboratorium dilakukan dengan menggunakan dua buah reaktor berkapasitas masing-masing 5 liter dan satu buah penjernih (*clarifier*), dengan konfigurasi anoksik – aerobik – *clarifier* beresirkulasi dari aerobik ke anoksik. Parameter yang diuji adalah MLVSS, TKN, N-NH₃, dan N-NO₃⁻. Pelaksanaan penelitian dimulai dari karakterisasi limbah cair industri-industri perikanan, aklimatisasi lumpur aktif, penentuan konstanta-konstanta parameter kinetika dan validasi model simulasi. Kemudian dilanjutkan dengan analisa sensitivitas konstanta parameter kinetika, verifikasi hasil simulasi dan penentuan efisiensi proses yang optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair dari industri pembuatan tepung ikan memiliki kandungan cemaran yang tertinggi (BOD = 289 mg/l, COD= 1192,9 mg/l, TKN= 1117,86 mg/l dan TSS= 69600 mg/l), dibandingkan jenis industri perikanan yang lain seperti industri pembekuan udang, pembekuan tuna, pengalengan ikan tuna dan lemuru. Hasil penentuan nilai-nilai parameter kinetika pada kondisi anoksik yaitu $\mu_m = 1,43 \text{ hari}^{-1}$, $K_S = 8,92 \text{ mgCOD/l}$, $K_{NO} = 4,09 \text{ mgN-NO}_3/\text{l}$, $Y_H = 0,17 \text{ mg VSS/mgCOD}$, dan $k_d = 0,07 \text{ hari}^{-1}$, dan parameter kinetika yang diperoleh pada kondisi aerobik yaitu $\mu_m = 3,97 \text{ hari}^{-1}$, $K_S = 168,90 \text{ mgCOD/l}$, $K_{NH} = 174,53 \text{ mg N-NH}_3/\text{l}$, $Y_H = 0,42 \text{ mg VSS/mg COD}$, dan $k_d = 0,12 \text{ hari}^{-1}$. Analisis sensitivitas konstanta parameter kinetika menunjukkan bahwa parameter yang sensitif yaitu: μ_m , K_S terutama pada kondisi aerobik dan Y_H . Konstanta kinetika yang kurang sensitif yaitu k_d , K_{NH} pada kondisi aerobik dan K_{NO} pada kondisi anoksik. Konstanta yang tidak sensitif yaitu K_{NH} pada kondisi anoksik. Sensitivitas parameter kinetika ini perlu dipertimbangkan karena banyak peneliti memperoleh hasil nilai parameter kinetikanya dengan kisaran yang cukup panjang. Model simulasi yang dibangun dapat digunakan untuk merancang dan merencanakan proses penyisihan nitrogen dengan faktor galat maksimum 20%. Galat TKN antara simulasi dan percobaan terkoreksi dengan 0,1369. Analisis optimasi dari unjuk kerja sistem diperoleh bahwa resirkulasi 50% dan HRT 0,5 - 1 hari menghasilkan efisiensi penyisihan nitrogen yang relatif baik.

Kata kunci: Penyisihan Nitrogen Secara Biologis; Air Limbah Industri Perikanan; Pengolahan Sistem Anoksik Aerobik

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRACT

BUSTAMI IBRAHIM. The Study of Biological Nitrogen Removal of Fishery Agroindustrial Wastewater Using Dynamic Model of Activated Sludge Model (ASM)1. Under supervision of DJUMALI MANGUNWIDJAJA, MUHAMMAD SRI SAENI, ANAS MIFTAH FAUZI, MUHAMMAD ROMLI and MENNOFATRIA BOER.

Nowadays fishery industry developed very rapidly and also followed by producing wastewater. Fishery industry wastewater characterized in highly organic carbon and nitrogen content, caused eutrophication phenomena. It will then reduce water utilization value, health problem like methemoglobinemia in babies, and also affect to human heart function.

The research objectives were to study biological nitrogen removal (BNR) of fishery industry wastewater using anoxic-aerobic with recirculation system and to verify the dynamic model simulation ASM1 which apply to the system. The system resulted can be used to design BNR process of fishery industry wastewater optimally. The research carried on laboratory experimentation and computer simulation. The laboratory experimentation were held using two types of reactors which have 5 litres capacity each and was completed by one clarifier. The configuration was anoxic – aerobic – clarifier with recirculation flow from aerobic to anoxic. The simulation system was designed using dynamic model ASM1 under Simulink package system for dynamic simulation. Parameters analysed were COD, MLVSS, TKN, $N-NH_3$, and $N-NO_3^-$. The research carried by several steps which are fishery industrial wastewaters characterization, activated sludge acclimatisation, kinetic parameter constants identification and model simulation. Afterward kinetic parameter constants were analysed for sensitivity, verification of model simulation and optimisation process efficiencies.

The results showed that fishmeal industry wastewater contents the highest of pollutant (BOD = 289 mg/l, COD= 1192,9 mg/l, TKN= 1117,86 mg/l dan TSS= 69600 mg/l) among other industries like frozen shrimp, frozen tuna, canned tuna and sardine, and also value added product. The kinetic parameters value for anoxic are $\mu_m = 1,43 \text{ day}^{-1}$, $K_S = 8,92 \text{ mgCOD/l}$, $K_{NO} = 4,09 \text{ mgN-NO}_3/\text{l}$, $Y_H = 0,17 \text{ mg VSS/mgCOD}$, and $k_d = 0,07 \text{ day}^{-1}$. Kinetic parameters value for aerobic are $\mu_m = 3,97 \text{ day}^{-1}$, $K_S = 168,90 \text{ mgCOD/l}$, $K_{NH} = 174,53 \text{ mg N-NH}_3/\text{l}$, $Y_H = 0,42 \text{ mg VSS/mg COD}$, and $k_d = 0,12 \text{ day}^{-1}$. Sensitivity analyses of kinetic parameters showed that some parameters like μ_m , K_S firstly for aerobic and Y_H are highly sensitive to tested parameters. Some of those are low sensitive, like k_d , aerobic K_{NH} and anoxic K_{NO} . The anoxic K_{NH} is insensitive. The sensitivity of kinetic parameters will become to be important when the kinetic parameters value has wide ranges. The simulation model developed has maximum error about 20% verify to laboratory experiment. The error of TKN between experimentation and simulation has been corrected by 0,1369. The process optimization and system performance showed that 50% recirculation and HRT 0,5 day resulted the best optimal process.

Keywords: Biological Nitrogen Removal; Fisheries Industrial Wastewater; Anoxic Aerobic Treatment System

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



© Hak cipta milik Institut Pertanian Bogor, tahun 2007
Hak cipta dilindungi

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari
Institut Pertanian Bogor, sebagian atau seluruhnya dalam
bentuk apa pun, baik cetak, fotokopi, mikrofilm, dan sebagainya*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**STUDI PENYISIHAN NITROGEN
AIR LIMBAH AGROINDUSTRI HASIL PERIKANAN
SECARA BIOLOGIS DENGAN MODEL DINAMIK
ACTIVATED SLUDGE MODEL (ASM) 1**

BUSTAMI IBRAHIM

**Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Doktor
Pada Program Studi Teknologi Industri Pertanian**

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2007**

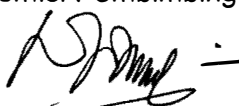
Judul Disertasi : Studi Penyisihan Nitrogen Air Limbah Agroindustri Hasil Perikanan Secara Biologis Dengan Model Dinamik *Activated Sludge Model (ASM) 1*

Nama Mahasiswa : BUSTAMI IBRAHIM

Nomor Pokok : 985109/TIP

Disetujui

Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Djumali Mangunwidjaja, DEA

Ketua



Prof. Dr. Ir. Muhammad Sri Saeni, MS

Anggota



Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, MEng

Anggota



Dr. Ir. Muhammad Romli, MSc.St.

Anggota



Dr. Ir. Mennofatria Boer, DEA

Anggota

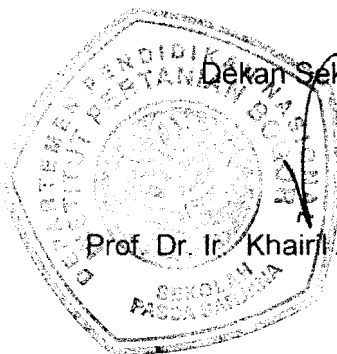
Diketahui

Ketua Program Studi
Teknologi Industri Pertanian

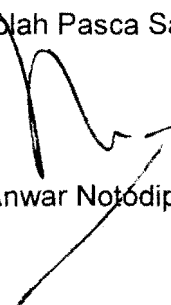


Dr. Ir. Irawadi Jamaran

Dekan Sekolah Pasca Sarjana



Prof. Dr. Ir. Khairil Anwar Notodiputro, MS



Tanggal Ujian : 9 April 2007

Tanggal Lulus : 16 MAY 2007

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya maka disertasi yang berjudul Studi Penyisihan Nitrogen Air Limbah Agroindustri Hasil Perikanan Secara Biologis Dengan Model Dinamik ASM 1 telah berhasil diselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sangat tulus dan mendalam kepada yang terhormat Prof. Dr. Ir. Djumali Mangunwidjaja, DEA, selaku Komisi Pembimbing, Prof. Dr. Ir. M. Sri Saeni, MS, Dr. Ir. Anas M. Fauzi, MEng, Dr. Ir. M. Romli, MSc.St., dan Dr. Ir. Menofatria Boer, DEA masing-masing selaku anggota Komisi Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, nasehat dan dorongan moral sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Rektor IPB, Dekan Sekolah Pascasarjana IPB, Dekan Fakultas Teknologi Hasil Pertanian, Ketua Departemen Teknologi Industri Pertanian dan Dr. Ir. Irawadi Jamaran, selaku Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian atas bantuan dan bimbingan selama pendidikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada seluruh staf pengajar Program Studi Teknologi Industri Pertanian Bogor IPB yang telah memberikan curahan ilmu dan pengalamannya selama penulis menempuh pendidikan di IPB.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB dan Ketua Departemen Teknologi Hasil Perairan IPB atas ijin dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan. Ucapan terima kasih pula disampaikan kepada Pengelola Penelitian Hibah Bersaing X (tahun 2001/2002 dan 2002/2003) dan Penelitian Dasar (tahun 2003/2004) dari Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai sebagian dari penelitian disertasi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Hari Eko Irianto APU (Kepala Balai Besar Pengolahan Produk Perikanan dan Bioteknologi, Departemen Kelautan dan Perikanan RI) dan Prof. Dr. Ir. Tun Tedja Irawadi, MS (Guru Besar Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan IPA IPB) yang

sekaligus bertindak sebagai Penguji Tamu Luar Komisi, atas segala perbaikan dan saran yang diberikan demi penyempurnaan disertasi ini.

Ucapan terima kasih yang tiada terhingga penulis haturkan kepada isteri serta anak-anakku tercinta atas semua bantuan materiil maupun spirituil, pengorbanan, doa dan kasih sayang. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan Departemen Teknologi Hasil Perikanan IPB yang telah banyak memberikan dorongan motivasi, semangat, bantuan dan kerjasamanya selama penulis menyelesaikan disertasi ini.

Penulis menyadari disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun demikian penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan teknologi untuk perbaikan kualitas lingkungan.

Bogor, Mei 2007

Bustami Ibrahim

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Manggar (Belitung), pada tanggal 1 Nopember 1961 dari pasangan ayah bernama Ibrahim Jacob dan ibu bernama Rosinah. Penulis merupakan putra pertama dari enam bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD II Unit Penambangan Timah Belitung di Tanjung Pandan (Belitung) pada tahun 1974, sekolah lanjutan tingkat pertama di SMP Unit Penambangan Timah Belitung di Tanjung Pandan (Belitung) lulus pada tahun 1977, dan sekolah lanjutan atas di SMA Negeri 46 Jakarta lulus tahun 1981. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di IPB dan lulus tahun 1986 dari Jurusan Pengolahan Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan IPB.

Penulis diterima menjadi staf pengajar di Jurusan THP IPB pada tahun 1987. Kemudian mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan S₂ di bidang Post Harvest Technology di University Of HumberSide, Inggris, lulus pada tahun 1993. Pada tahun 1998 penulis melanjutkan program S₃ di Program Studi Teknologi Industri Pertanian IPB dibiayai oleh BPPS Departemen Pendidikan Nasional.

Penulis menikah pada tahun 1987 dengan Ir. Ayu Pratiwanggini, dan telah dikaruniai tiga orang anak yaitu Citra Profelia, Yusuf Twindana dan Twindy Prettymaya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4. Hipotesis	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pemodelan	5
2.2. Ciri Dan Jenis Limbah Cair Industri	8
2.3. Perubahan Biologis Limbah Organik	13
2.4. Sistem Pengolahan Biologis Limbah Agroindustri	17
2.5. Proses Perubahan Nitrogen	20
2.5.1. Proses amonifikasi	20
2.5.2. Proses nitrifikasi	21
2.5.3. Proses denitrifikasi	23
2.6. Kinetik Pertumbuhan Mikroorganisme	27
2.6.1. Pertumbuhan sel	28
2.6.2. Pertumbuhan pada substrat terbatas	28
2.6.3. Pengaruh metabolisme endogen	29
2.6.4. Hubungan pertumbuhan sel dan penggunaan substrat	30
2.6.5. Penerapan kinetik pertumbuhan dan penghilangan substrat pada perlakuan biologis	31
2.6.6. Kosentrasi substrat dan biomassa pada efluen	33
2.7. Stoikiometri dan Keseimbangan Bahan	33
3. KERANGKA PEMIKIRAN	36
3.1. Kerangka Keseimbangan Massa dan Laju Reaksi	36

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

3.2. Penyederhanaan Struktur Model	38
4. METODOLOGI PENELITIAN	39
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	39
4.2. Metode Penelitian	39
4.2.1. Bahan dan alat	39
4.2.2. Perumusan model	42
4.2.3. Pengkondisian reaktor	49
4.2.4. Aklimasi lumpur aktif	50
4.3. Pengolahan Data dan Verifikasi	51
4.3.1. Metode penghitungan parameter kinetik anoksik	51
4.3.2. Metode penghitungan parameter kinetik aerobik	55
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	57
5.1. Ciri Limbah Cair	57
5.1.1 Ciri limbah cair industri perikanan	57
5.1.2 Ciri limbah cair buatan	58
5.2. Pengkondisian Reaktor	59
5.3. Perhitungan Parameter Kinetik	61
5.3.1. Parameter kinetik pada proses denitrifikasi	61
5.3.1.1. Koefisien konstanta paruh (K_s) dan K_{NO}	61
5.3.1.2. Koefisien perombakan endogenous (k_d) dan <i>Yield</i> (Y)	64
5.3.1.3. Koefisien laju pertumbuhan maksimum (μ_m)	65
5.3.2. Parameter kinetik pada proses nitrifikasi	66
5.3.2.1. Parameter kinetik K_s	66
5.3.2.2. Perhitungan parameter kinetik nitrogen amonia (K_{NH})	68
5.4. Parameter Konstanta Laju Spesifik Amonifikasi (K_a)	70
5.5. Sensitivitas Parameter Kinetik	71
5.5.1. Sensitivitas konstanta μ_m	71
5.5.2. Sensitivitas konstanta K_s	73
5.5.3. Sensitivitas konstanta Y_H	75
5.5.4. Sensitivitas konstanta k_d	77
5.5.5. Sensitivitas konstanta K_{NH}	79
5.5.6. Sensitivitas konstanta K_{NO}	80
5.6. Model Keseimbangan Sistem Total	81

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

5.7. Validasi Reayasa Simulasi	85
5.8. Verifikasi Data	89
5.8.1. Verifikasi parameter dalam influen	89
5.8.2. Verifikasi hasil simulasi dengan reaktor tunggal	89
5.8.3. Verifikasi hasil pengolahan dengan reaktor 2 tahap	90
5.9. Evaluasi Model Simulasi	108
5.9.1. Hasil Simulasi dengan berbagai HRT	108
5.9.2. Hasil Simulasi dengan berbagai Nilai Resirkulasi	110
5.9.3. Hasil Simulasi dari berbagai pembebanan COD	111
5.9.4. Hasil Simulasi dari berbagai rasio antara volume anoksik dan aerobik	114
5.9.5. Simulasi dengan pembebanan seketika (<i>shock loading</i>)	116
5.10. Efisiensi Penyisihan Nitrogen Total	121
6. SIMPULAN DAN SARAN	124
6.1. Simpulan	124
6.2. Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	127
LAMPIRAN	133

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Nilai rata-rata aliran efluen industri perikanan berdasarkan jenis konsumsi dan aliran spesifik	10
2. Model terstruktur MLVSS yang disederhanakan	38
3. Hasil pengamatan limbah cair industri perikanan	57
4. Karakteristik limbah cair buatan	59
5. Nilai-nilai parameter kinetik pada kondisi anoksik	66
6. Nilai-nilai parameter kinetik pada kondisi aerobik	69
7. Hasil perbandingan parameter pada influen antara percobaan dan simulasi.....	89
8. Hasil uji profil antara percobaan dan simulasi	91

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Transformasi nitrogen didalam proses pengolahan secara biologis (Metcalf dan Edy, 1991)	15
2. Beberapa kemungkinan terjadinya peyisihan nitrogen secara biologis (Loosdrecht dan Jetten, 1998)	16
3. Daur nitrogen dalam proses penyisihan biologis (Dold <i>et al</i> , 1980)	17
4. Diagram rute aliran elektron pada respirasi mikrobial (Grady dan Lim, 1980).....	26
5. Kerangka fungsional mekanisme penyisihan nitrogen secara biologis (Modifikasi Dunn <i>et al</i> , 1992).....	36
6. Skema sistem pengolahan limbah dengan susunan reaktor anoksik-aerobik (Utomo <i>et al</i> , 2000).....	37
7. Konstruksi dan dimensi reaktor aerobik dan anoksik (Utomo,2000).....	40
8. Konstruksi dan dimensi penjernih (<i>Clarifier</i>) (Utomo, 2000).....	41
9. Diagram sistem simulasi yang dirancang dengan perangkat lunak Simulink MATLAB	47
10. Langkah-langkah dalam pembuatan model (Coyle, 1996).....	48
11. Langkah-langkah pelaksanaan penelitian	49
12. Sistem dan konfigurasi bioreaktor yang digunakan dalam penelitian	50
13. Grafik hubungan laju pertumbuhan spesifik (μ) dan laju spesifik penggunaan substrat (U).....	53
14. Grafik Hubungan resiprokal konsentrasi substrat (1/S) dan resiprokal laju spesifik penggunaan substrat (1/U)	54
15. Grafik hubungan laju spesifik penggunaan substrat (U) dan resiprokal waktu tinggal lumpur ($\frac{1}{\theta_c}$).....	56
16. Konfigurasi reaktor sistem anoksik-aerobik dengan lumpur aktif	60
17. Grafik COD reaktor pada proses pengkondisian	60
18. Grafik MLSS reaktor pada proses pengkondisian	61
19. Grafik MLVSS reaktor pada proses pengkondisian.....	61
20. Grafik penentuan K_s dan k pada proses denitrifikasi	62
21. Grafik penentuan K_{NO} dan k pada proses denitrifikasi.....	63
22. Grafik penentuan Y dan k_d pada proses denitrifikasi.....	64

23. Grafik perhitungan nilai parameter K_s dan k dari COD	67
24. Grafik perhitungan nilai parameter Y dan k_d dari COD	68
25. Grafik perhitungan nilai parameter K_{NH} dan k dari $N-NH_3$	69
26. Parameter konstanta laju spesifik amonifikasi (K_a).....	70
27a. Sensitivitas konstanta μ_m pada kondisi aerobik.....	72
27b. Sensitivitas konstanta μ_m pada kondisi anoksik	72
28a. Sensitivitas konstanta K_s pada kondisi aerobik.....	74
28b. Sensitivitas konstanta K_s pada kondisi anoksik	74
29a. Sensitivitas konstanta Y_H pada kondisi aerobik	75
29b. Sensitivitas konstanta Y_H pada kondisi anoksik.....	76
30a. Sensitivitas konstanta k_d pada kondisi aerobik	77
30b. Sensitivitas konstanta k_d pada kondisi anoksik.....	78
31. Sensitivitas konstanta K_{NH} pada kondisi aerobik.....	79
32. Sensitivitas konstanta K_{NO} pada kondisi anoksik	80
33. Hubungan keterkaitan antara senyawa nutrien dan mikroorganisme	81
34. Blok diagram model simulasi sistem pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif 2 tahap	82
35. Blok diagram model simulasi sub-sistem pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif pada reaktor anoksik.....	83
36. Blok diagram model simulasi sub-sistem pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif pada reaktor aerobik.....	84
37. Kondisi (a) COD dan (b) TKN Pada Reaktor Anoksik dan Aerobik Pada Saat $MLVSS=0$	85
38. Kondisi (a) COD, (b) TKN, (c) NH_3 dan (d) NO_3^- pada reaktor anoksik dan aerobik dibandingkan masing-masing dengan influen pada saat $DO=0$	86
39. Kondisi (a) TKN dan (b) NO_3^- pada reaktor anoksik dan aerobik dibandingkan dengan influen pada saat resirkulasi tinggi.	87
40. Kondisi (a) $MLVSS$, (b) TKN, (c) NH_3 dan (d) NO_3^- pada reaktor anoksik dan aerobik dibandingkan masing-masing dengan influen pada saat $COD=0$	88
41. Hasil verifikasi model simulasi pada reaktor aerobik	90
42. Hasil verifikasi model simulasi pada reaktor anoksik.....	90

43a. Verifikasi nilai COD dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	92
43b. Verifikasi nilai COD dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	93
43c. Verifikasi nilai COD dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	93
44a. Verifikasi nilai COD dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	94
44b. Verifikasi nilai COD dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	94
44c. Verifikasi nilai COD dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	95
45a. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	97
45b. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	97
45c. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	98
46a. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	98
46b. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	95
46c. Verifikasi konsentrasi TKN dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	95
47a. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	100
47b. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	101
47c. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	101
48a. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	102
48b. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	102
48c. Verifikasi konsentrasi NH ₃ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	103
49a. Verifikasi konsentrasi N-NO ₃ ⁻ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%	104
49b. Verifikasi konsentrasi N-NO ₃ ⁻ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%	105
49c. Verifikasi konsentrasi N-NO ₃ ⁻ dalam reaktor aerobik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%	105

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

50a. Verifikasi konsentrasi $N-NO_3^-$ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 100%.....	106
50b. Verifikasi konsentrasi $N-NO_3^-$ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 75%.....	106
50c. Verifikasi konsentrasi $N-NO_3^-$ dalam reaktor anoksik pada berbagai HRT dengan resirkulasi 50%.....	107
51a. Nilai parameter MLVSS hasil simulasi pada berbagai HRT	109
51b. Nilai-nilai parameter COD, TKN, NH_3 dan NO_3^- hasil simulasi pada berbagai HRT	109
52a. Nilai parameter MLVSS hasil simulasi pada berbagai tingkat resirkulasi	110
52b. Nilai-nilai parameter COD, TKN dan NO_3^- hasil simulasi pada berbagai tingkat resirkulasi.....	110
53a. Nilai parameter MLVSS hasil simulasi pada berbagai tingkat pembebanan COD.....	111
53b. Nilai parameter COD hasil simulasi pada berbagai tingkat pembebanan COD.....	112
53c. Nilai parameter TKN hasil simulasi pada berbagai tingkat pembebanan COD.....	112
53d. Nilai parameter NH_3 hasil simulasi pada berbagai tingkat pembebanan COD.....	113
53e. Nilai parameter NO_3^- hasil simulasi pada berbagai tingkat pembebanan COD.....	113
54a. Hasil parameter MLVSS pada simulasi rasio volume antara reaktor anoksik dan aerobik	115
54b. Hasil parameter COD pada simulasi rasio volume antara reaktor anoksik dan aerobik.....	115
54c. Hasil parameter TKN dan NO_3^- pada simulasi rasio volume antara reaktor anoksik dan aerobik	115
55a. Hasil perubahan nilai MLVSS dan efluen COD pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 6.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	116
55b. Hasil perubahan nilai TKN, NH_3 dan NO_3^- pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 6.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	117
56a. Hasil perubahan nilai MLVSS dan efluen COD pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 8.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	117
56b. Hasil perubahan nilai TKN, NH_3 dan NO_3^- pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 8.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	118

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



57a. Hasil perubahan nilai MLVSS dan efluen COD pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 10.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	118
57b. Hasil perubahan nilai TKN, NH ₃ dan NO ₃ ⁻ pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 10.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik	119
58a. Hasil perubahan nilai MLVSS dan efluen COD pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 15.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	119
58b. Hasil perubahan nilai TKN, NH ₃ dan NO ₃ ⁻ pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 15.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik	120
59a. Hasil perubahan nilai MLVSS dan efluen COD pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 20.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik.....	120
59b. Hasil perubahan nilai TKN, NH ₃ dan NO ₃ ⁻ pada pembebanan seketika (<i>shock loading</i>) nilai COD dari 4.000 mg/l ke 20.000 mg/l pada sistem anoksik-aerobik	121
60. Efisiensi penyisihan nitrogen total pada sistem 2 tahap	122

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Gambar sistem reaktor yang digunakan.....	134
2. Matrik model umum lumpur aktif (Henze <i>et al</i> , 1987).....	136
3. Model matematika untuk proses.....	137
4. Model matematika pada suatu sistem konfigurasi reaktor anoksik-aerobik	138
5. Daftar keterangan simbol-simbol parameter dan persamaan.....	141
6. Tatacara analisis	142
7. Gambar tampilan model simulasi	148
8. Optimasi HRT hasil simulasi.....	151
9. Data historis analisis laboratorium selama penelitian.....	153
10. Perhitungan faktor koreksi TKN	155
11. Perhitungan konstanta laju spesifik amonifikasi (K_a)	156
12. Kondisi kendali proses.....	157
13. Perhitungan efisiensi penyisihan COD, TKN dan nitrogen total	160
14. Pengujian verifikasi data parameter dalam influen	161
15. Uji keragaman perbandingan antara simulasi dan percobaan	162
16. Uji profil hasil verifikasi reaktor tunggal aerobic.....	163
17. Uji profil hasil verifikasi reaktor tunggal anoksik	165
18. Hasil simulasi dengan peubah HRT	167
19. Hasil simulasi dengan peubah rasio volume anoksik dan aerobik	170

DAFTAR ISTILAH

Aerasi adalah (1) suatu proses pemberian udara atau terjenuhkan dengan udara. (2) dalam perlakuan limbah, proses untuk memelihara pemurnian biologis dan kemis. (3) menyingkap suatu sistem terhadap kerja udara, umumnya dengan mengalirkan gelembung udara ke dalam sistem atau menyemprotkan sistem ke udara; kadang-kadang digunakan gas lain yang bukan udara misalnya karbon dioksida dalam pembuatan minuman ringan berkarbonat (limun).

Aerobik adalah (1) terdapat oksigen molekuler sebagai suatu bagian dari lingkungan, (2) tumbuh hanya dengan kehadiran oksigen molekuler sebagai organisme aerob, (3) terdapat hanya dengan kehadiran oksigen molekuler, (4) hidup atau aktif jika hanya tersedia oksigen.

Air Limbah adalah (1) air yang membawa sampah (limbah) dari rumah (tempat tinggal), bisnis dan industri; suatu campuran air dan padatan terlarut atau tersuspensi, (2) air buangan dari hasil kegiatan proses yang dibuang ke dalam lingkungan.

ASM 1 adalah singkatan dari *Activated Sludge Model* Nomor 1, yaitu nama yang diberikan pada model dinamik untuk pengolahan limbah cair secara biologis yang pertama.

Anaerobik adalah suatu kondisi lingkungan kehidupan organisme dalam suasana tidak ada oksigen bebas.

Anoksik adalah suatu kondisi lingkungan kehidupan organisme dalam suasana tidak terdapat oksigen bebas, sehingga reaksi berlangsung menggunakan oksigen dari senyawa nitrat nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^-) dan lain-lain.

Autotrof adalah organisme hidup yang mampu mensintesis zat gizi organik langsung dari zat-zat organik sederhana seperti karbon dioksida dan senyawa nitrogen anorganik.

Baku mutu limbah cair adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam limbah cair untuk dibuang dari suatu jenis kegiatan tertentu.

Biochemical Oxygen Demand (BOD, Kebutuhan Oksigen Biokimiawi) adalah banyaknya oksigen terlarut dalam suatu perairan yang dibutuhkan untuk metabolisme mikroorganisme dalam mencerna berbagai bahan organik yang terdapat dalam perairan itu.

Chemical Oxygen Demand (COD, Kebutuhan Oksigen Kimiawi) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik secara kimiawi.

Degradasi adalah (1) menurunnya kualitas lingkungan umumnya terjadi pada lahan-lahan kritis, (2) menurunnya tingkat kompleksitas suatu senyawa kimia menjadi lebih sederhana.

Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*) adalah banyaknya oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan mg/l oksigen yang terlarut. Oksigen yang terlarut ini dipergunakan sebagai derajat pencemaran limbah pada perairan, semakin tinggi DO menunjukkan semakin kecil derajat pencemaran yang terjadi.

Denitrifikasi adalah (1) proses senyawa nitrogen organik diurai dengan hasil akhir berupa gas nitrogen, (2) proses perubahan garam atau senyawa nitrit oleh mikroba tertentu menjadi produk gas seperti nitrogen, dinitrogen oksida dan nitrogen oksida.

Efluen adalah sampah padat, cair atau gas yang memasuki lingkungan sebagai suatu produk samping atau tambahan dalam kegiatan manusia

Fotosintesis adalah sintesis karbohidrat dari karbon dioksida dan air oleh klorofil, menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan atau sampingan.

Influen adalah masuknya buangan industri atau pertanian dalam suatu lingkungan (air, tanah atau udara) yang menyebabkan terjadinya pencemaran dalam lingkungan tersebut.

Clarifier (Penjernih) adalah suatu tangki pengendapan dalam perlakuan air limbah atau buangan, yang secara mekanik memisahkan padatan dengan cara mengendapkannya dari air limbah.

Konsentrasi massa adalah konsentrasi dari limbah sebagai fungsi dari waktu tinggal sel rata-rata.

Limbah adalah hasil sampingan dari proses produksi yang tidak digunakan dan dapat berbentuk benda padat, cair, gas, debu, suara, getaran, perusakan dan lain-lain yang dapat menimbulkan pencemaran bila tidak dikelola dengan baik.

Limbah cair adalah bahan-bahan pencemar dalam bentuk cair.

Lumpur Limbah adalah buangan industri yang bersifat lumpur. Komponen utama dari lumpur limbah ini adalah zat-zat organik, logam berat dan mikroorganisme patogen.

Metana (CH₄) adalah suatu gas tanpa bau, tanpa warna dan dapat meledak dalam keadaan-keadaan tertentu; dapat diproduksi oleh sampah padat yang mengalami proses penguraian anaerob.

MLVSS adalah singkatan dari Mixed Liquor Volatile Suspended Solid, yaitu padatan tersuspensi dalam limbah yang diperhitungkan sebagai flok dari mikroorganisme.

Nitrifikasi adalah (1) oksidasi biologi amonium menjadi nitrit dan oksidasi lebih lanjut dari nitrit menjadi nitrat. (2) pembentukan asam nitrit dan asam nitrat atau garam-garamnya oleh oksidasi nitrogen dalam senyawa amonia; khusus oksidasi garam amonia ke nitrit dan oksidasi nitrit ke nitrat oleh bakteri tertentu.

Padatan Tersuspensi adalah zat padat butiran dan amorf yang melayang dalam air; bila air itu didiamkan cukup lama, zat padat ini akan turun mengendap.

Pencemaran air adalah penambahan bahan berbahaya, merugikan atau tidak diinginkan dalam air dengan konsentrasi atau kuantitas yang cukup

untuk menyebabkan kerugian, mempengaruhi kebergunaan atau menurunkan kualitas air.

Polutan (pencemar) adalah sesuatu atau zat yang terdapat di dalam suatu benda padat, cair atau gas yang menyebabkan benda tersebut menjadi tercemar.

Polusi (pencemaran) adalah (1) kondisi yang ditimbulkan oleh kehadiran bahan-bahan di lingkungan yang bersifat merugikan dan dalam jumlah sedemikian rupa menyebabkan kualitas lingkungan menurun atau berbalik menyerang kehidupan. (2) pencemaran atau pengotoran yang terjadi baik terhadap udara, air dan sebagainya yang disebabkan karena pabrik, kendaraan bermotor dan lain-lain.

Sedimen adalah (1) bahan padat baik mineral maupun organik, yang berada dalam suspensi, sedang diangkut atau dipindahkan dari lokasi asli oleh udara, air, gaya berat atau es yang telah mengendap pada permukaan bumi, diatas atau dibawah permukaan laut. (2) bahan padat dari buangan yang mengendap dalam pengolahan primer dan sekunder.

Sedimentasi adalah pemisahan partikel-partikel tersuspensi yang lebih berat dari pada air dalam cairan oleh adanya gaya gravitasi.

Sludge adalah lumpur atau materi yang tidak larut yang selalu tampak kehadirannya dalam setiap pengolahan; umumnya tersusun oleh serat-serat organik yang kaya akan selulosa dan didalamnya terhimpun kehidupan mikroorganisme.

TKN adalah singkatan dari Total Kjeldahl Nitrogen.

Total Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid, TSS*) adalah jumlah bobot dalam mg/l lumpur kering yang ada didalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45 μ .

