

33760/H/08



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSL
628. 25-7
Han
p-1

2008

Tugas Akhir PL-1603

**PENYISIHAN COD, BOD₅, DAN TSS PADA
LIMBAH INDUSTRI PENCELUPAN BENANG
DENGAN METODE BIOREAKTOR KANA
(*Canna sp.*) DAN KOAGULASI-FLOKULASI**

Oleh:
Hanina
NRP. 3304 100 070

Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	6 - 8 - 2008
Terima Dari	H
No. Akutansi Prp.	231388

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2008



FINAL PROJECT PL-1603

**REMOVAL OF COD, BOD₅ AND TSS IN YARN
DYEING INDUSTRY WASTE USING KANA
(*Canna sp.*) BIOREACTOR AND
COAGULATION-FLOCCULATION**

**HANINA
NRP. 3304 100 070**

**Supervisor :
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc**

**DEPARTEMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering and Planning
Institute Of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2008**

**PENYISIHAN COD, BOD, DAN TSS
DALAM LIMBAH INDUSTRI PENCELUPAN BENANG
DENGAN METODE BIOREAKTOR KANA (*Canna sp.*)
DAN METODE KOAGULASI-FLOKULASI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HANINA

NRP. 3304100070

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc
NIP. 131409016





ABSTRAK

**PENYISIHAN BOD₅, COD DAN TSS DALAM LIMBAH
INDUSTRI PENCELUPAN BENANG DENGAN METODE
BIOREAKTOR KANA (*Canna sp.*) DAN METODE KOAGULASI-
FLOKULASI**

Nama mahasiswa : Hanina
NRP : 3304 100 070
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum,
MAppSc

ABSTRAK

Limbah pencelupan benang ini mempunyai kandungan BOD₅, COD dan TSS yang melebihi 10000 mg/l. Karena merupakan Home Industry, efluen limbah langsung dibuang ke badan air dengan melewati kolam-kolam penampungan saja. Hal ini yang mendasari munculnya ide penelitian dengan menggunakan bioreaktor tanaman Kana. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan sistem bioreaktor tanaman Kana dalam menyisihkan COD, BOD₅₅, dan TSS dalam limbah pencelupan benang. Variasi yang digunakan adalah penambahan aerasi dan tanpa penambahan aerasi. Penelitian dilakukan selama 30 hari dengan sistem batch untuk memudahkan pengamatan dalam mengetahui perbedaan kedua variasi tersebut.

Dalam pelaksanaan penelitian, limbah asli pencelupan benang diencerkan terlebih dahulu dikarenakan konsentrasinya terlalu pekat. Berdasarkan hasil Range Finding Test (RFT), konsentrasi limbah pencelupan benang optimum adalah 1,5%. Pada konsentrasi tersebut, karakteristik limbah adalah COD=400 mg/L, BOD₅=160 mg/L, dan TSS=464 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan penyisihan kandungan COD, BOD₅₅, dan TSS. Dengan penambahan aerasi, mampu meningkatkan kemampuan bioreaktor Kana dalam menurunkan kandungan polutan organik. Dari hasil pengamatan, limbah pencelupan benang mempunyai karakteristik akhir, yaitu nilai COD=80 mg/L dengan efisiensi=77,5%; nilai BOD₅=19,6mg/L dengan efisiensi=86,22% dan nilai TSS=61 mg/L dengan efisiensi=84,59%.

Kata Kunci: bioreaktor Kana, limbah pencelupan benang, aerasi

REMOVAL OF COD, BOD₅ and TSS IN YARN DYEING HOME INDUSTRY WASTE USING KANA (*CANNA Sp.*) BIOREACTOR AND COAGULATION-FLOCCULATION

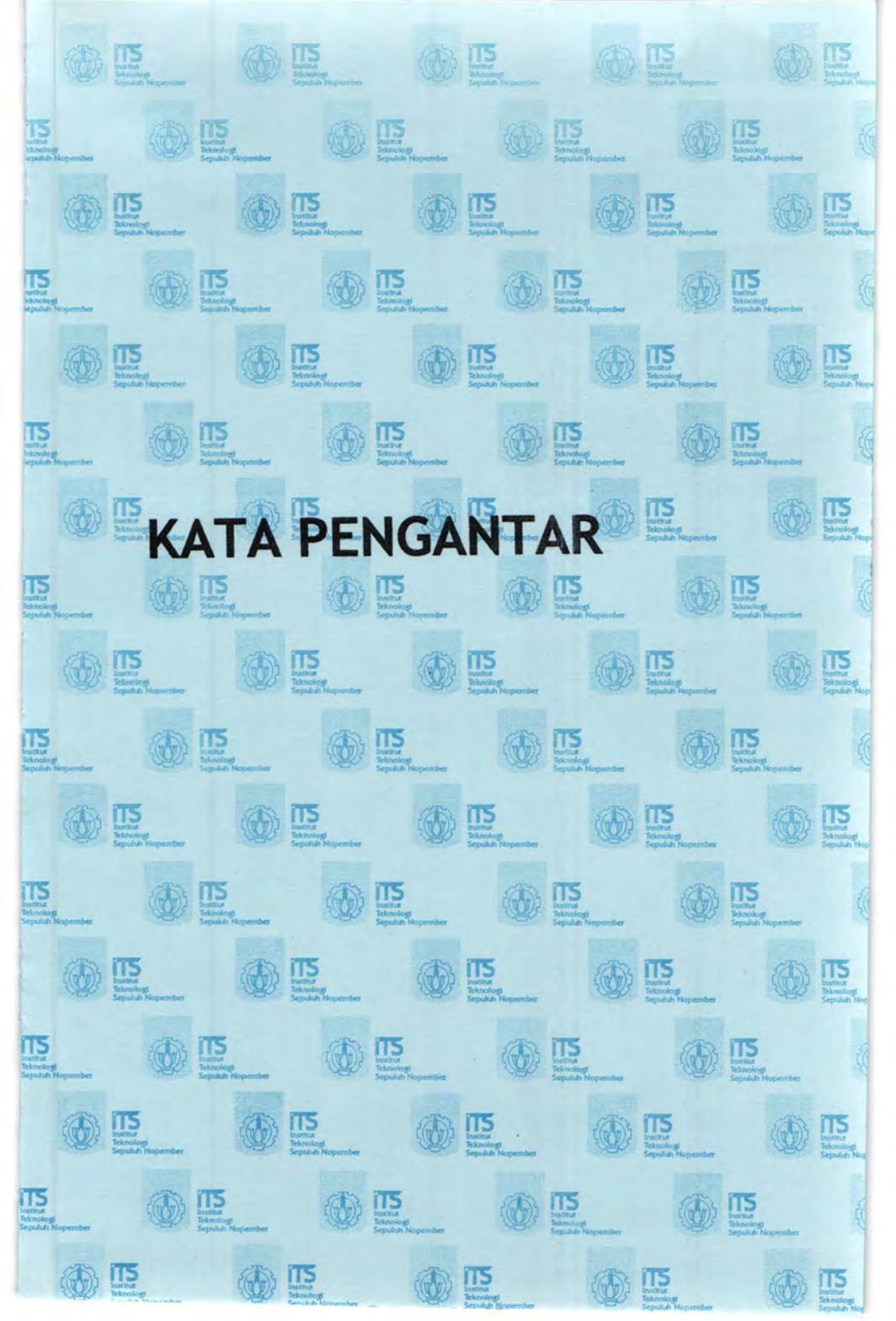
Name : Hanina
NRP : 3304 100 070
Department : Environmental Engineering
Consellor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Abstract

Yard dyeing waste has concentration of COD, BOD₅, and TSS more than 10000 mg/L because include in home industry, which this effluent throw away directly into the surface water through only some equalization basins. This problem become main idea to make a research using kana plant bioreactor. This research purposed to know ability of kana bioreactor system to remove COD, BOD₅, and TSS in Yard dyeing waste. Variation that usisng in this research are addition aeration and without addition aeration. This research happen during 30 days with batch system to know the observation of differentiation between two reactors.

In this research, the original yard dyeing waste was diluted because it very quite. Based on Range Finding Test (RFT), concentration of yard dyeing waste that can removed their organic pollutant is 1,5%. With this concentration, characteristic of effluent are COD 400 mg/L, BOD₅ 160 mg/L, and TSS 464 mg/L. Based on this research, can remove COD, BOD₅, and TSS. With aeration, can decrease kana bioreactor ability to remove organic pollutant. From this results, yard dyeing waste have characteristic is COD 80 mg/L, BOD₅ 19,6 mg/L, and TSS 61 mg/L.

Key words: *kana bioreactor, yard dyeing waste, effect of aeration*



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah, SWT, karena berkat rahmatnya tugas akhir yang berjudul “Penyisihan BOD₅, COD, dan TSS Dalam Limbah Industri Pencelupan Benang Dengan Metode Bioreaktor Kana (*Cama sp.*) Dan Koagulasi-Flokulasi” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan arahan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Hari Wiko I., MEng, Bapak Ir. M. Razif, MM dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST, MT serta Ibu Ir. Ellina S.P., MT selaku dosen penguji.
3. Alm.Papa, Mama dan Kakaku tercinta, terima kasih buat semua kasih sayang, do'a dan dukungan yang telah dicurahkan kepada penulis selama ini.
4. Pak Hadi, pak Affan, pak Ardi, pak Asmadi dan pak Ervan, terima kasih buat bantuan dan bimbingannya.
5. Teman-teman satu asisten (Sintia dan Silvia) dan Lailatus Siami, terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini.
6. Keluarga besar “Gebang” (Jum, Neni, Asta, Desi, dkk) serta rekan-rekan AMDAL tercinta (Oky, Ami, Tia, Ainun, Asrofi).

“Karya seorang hamba akan jauh dari kata sempurna”. Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan. Maka dari itu, saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis. Terima Kasih.

Surabaya, Agustus 2008

Penulis

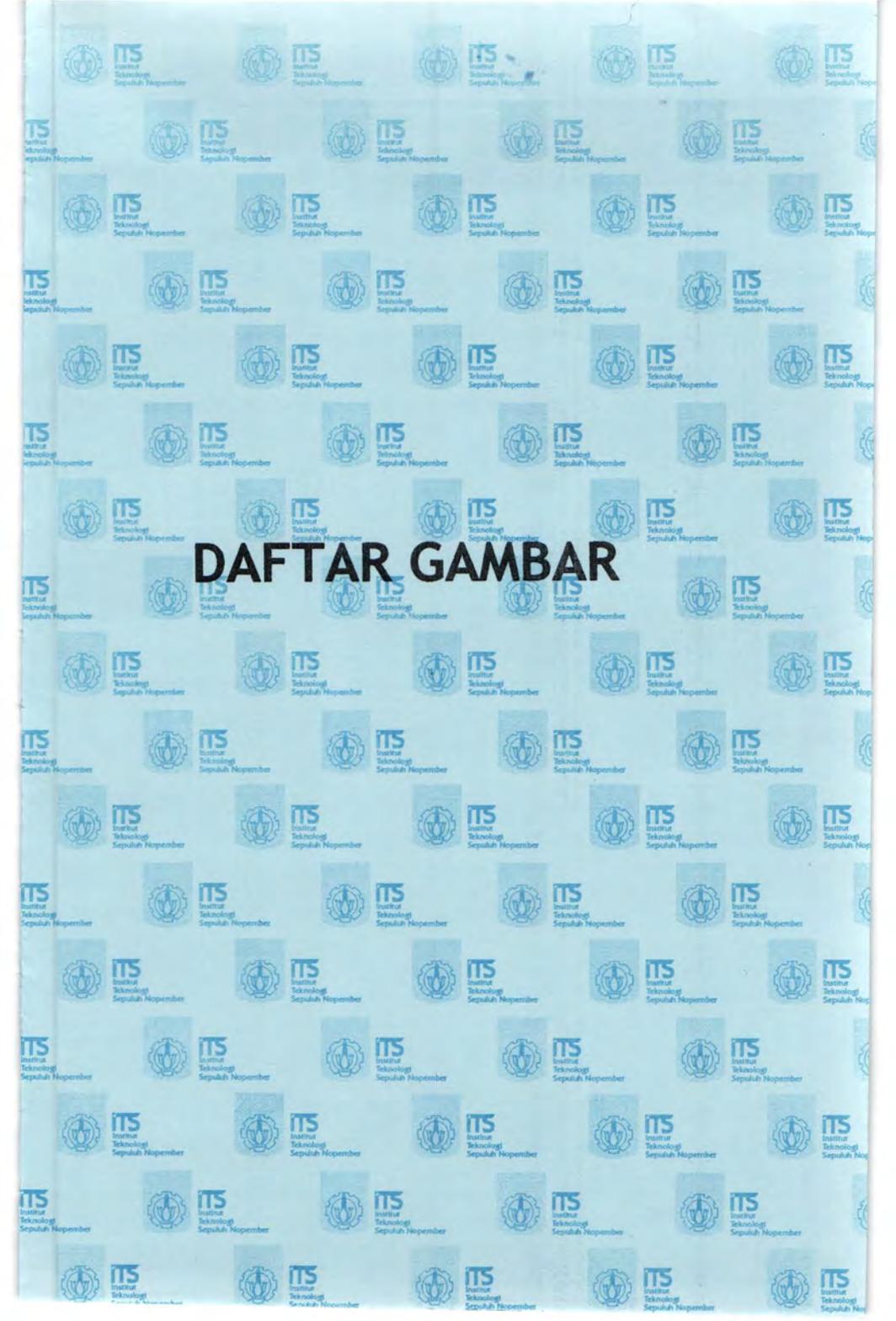
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gambaran Umum Perusahaan	5
2.1.1 Umum	5
2.1.2 Urutan Proses Pencelupan Benang	5
2.1.3 Unit Pengolahan Limbah pada Industri Pencelupan Benang	6
2.1.4 Zat Warna	8
2.2 Tumbuhan Kana (<i>Canna sp.</i>)	11
2.3 Teknologi Pengolahan Limbah Dengan Tumbuhan Air	14
2.3.1 <i>Wetland</i>	14
2.3.2 Kebutuhan Unsur Hara Oleh Tumbuhan	16
2.3.3 Fotosintesis	16
2.3.4 Respirasi	16
2.3.5 Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan	17

2.3.6 Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik	17
2.4 Media	18
2.5 Aerasi	19
2.6 Parameter Analisis	20
2.6.1 Analisis pH	20
2.6.2 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	20
2.6.3 BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	20
2.6.4 TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	21
2.7 Pengolahan secara Fisik-Kimia	21
2.7.1 Proses Koagulasi dan Flokulasi	21
2.7.2 Koagulan Aluminium Sulfat	22
2.7.3 Koagulan PAC (Poly Aluminium Chloride)	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Umum	25
3.2 Kerangka Penelitian	26
3.3 Ide Studi	28
3.4 Tahapan Penelitian	29
3.4.1 Studi Literatur	29
3.4.2 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian	30
3.4.3 Persiapan Alat dan Bahan	30
3.4.4 Penelitian Pendahuluan	34
3.4.5 Pelaksanaan Penelitian	35
3.4.5.1 Sistem Bioreaktor	35
3.4.5.2 Koagulasi-flokulasi	39
3.4.6 Analisis Data dan Pembahasan	40
3.4.7 Kesimpulan dan Saran	40
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Penelitian Pendahuluan	41
4.1.1 Karakteristik Limbah	41
4.1.2 Aklimatisasi	42

4.1.3	Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Industri Pencelupan Benang melalui Range Finding Test (RFT).....	44
4.2	Penurunan Kandungan BOD ₅	47
4.2.1	Penurunan BOD pada Reaktor Uji dengan Penambahan Aerasi	48
4.2.2	Penurunan BOD pada Reaktor Uji Tanpa Penambahan Aerasi	52
4.2.3	Perbandingan Efisiensi Penyisihan Antara Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.	56
4.3	Penurunan Kandungan Organik (COD)	58
4.3.1	Analisis Penurunan COD pada Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi	59
4.3.2	Analisis Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi	64
4.3.3	Perbandingan efisiensi penyisihan COD Antara Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.....	69
4.3.4	Rasio COD/BOD	72
4.4	Penurunan Total Suspended Solid (TSS)	73
4.4.1	Penurunan Kandungan TSS Pada Reaktor Kontrol dan Uji Dengan Penambahan Aerasi	74
4.4.2	Penurunan Kandungan TSS Pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi	78
4.4.3	Perbandingan Efisiensi Penyisihan TSS Antara Reaktor Dengan Penambahan Aerasi Dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.....	82
4.5	Perbandingan pengaruh media dan tanaman pada efisiensi penyisihan BOD ₅ , COD dan TSS	85
4.6	Perubahan pH.....	87
4.7	Perubahan suhu	90
4.8	Alternatif Lain Pengolahan Limbah Pencelupan Benang	93

4.8.1 Koagulasi-Flokulasi oleh Poly Aluminium Chloride (PAC)	94
4.8.2 Koagulasi-Flokulasi oleh Aluminium Sulfat / Tawas	98
4.9. Alternatif Bangunan Pengolahan Limbah <i>Home Industry</i> Pencelupan Benang	101
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS PARAMETER	119
LAMPIRAN B PERHITUNGAN DEBIT UDARA YANG DIHASILKAN AERATOR	126



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengeringan Benang.....	6
Gambar 2.2 Bak Pengumpul Limbah di Home industry Pencelupan Benang.....	7
Gambar 2.3 Bak Penampungan Limbah.....	7
Gambar 2.4 Bak Pengendap	8
Gambar 2.5 <i>Canna sp.</i>	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Skema Pelaksanaan Penelitian.....	37
Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Lapangan Limbah Pencelupan Benang.....	42
Gambar 4.2 Aklimatisasi Tanaman Kana Pada <i>Polybag</i> dan Reaktor	43
Gambar 4.3 Hasil Pengamatan RFT Tanaman Uji.....	45
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Penyisihan BOD Pada Media Dengan Penambahan Aerasi	51
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Penyisihan BOD5 Pada Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.....	55
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Penyisihan BOD5 Optimum oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor Tanpa penambahan aerasi.....	58
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi.....	63
Gambar 4.8 Kondisi Reaktor Setelah Hari ke-30	64
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi.....	68
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Penyisihan COD Optimum Oleh Reaktor Dengan Penambahan Aerasi Dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.....	71
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Penyisihan TSS Oleh Reaktor Kontrol Dan Uji Dengan Penambahan Aerasi.....	77
Gambar 4.12 Kondisi akar sebelum dan sesudah berada pada bioreaktor.....	80

Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Penyisihan TSS Oleh Reaktor Kontrol Dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi.....	82
Gambar 4.14 Grafik Efisiensi Penyisihan TSS Optimum oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor tanpa penambahan aerasi.....	84
Gambar 4.15 Gambar limbah sebelum dan sesudah pengolahan.....	85
Gambar 4.16 Pengukuran pH Pada Kondisi Aerasi Dan Non-Aerasi.....	89
Gambar 4.17 Grafik Pengukuran Suhu Limbah Pada Reaktor Aerasi dan Non-aerasi.....	92
Gambar 4.18 Proses Agitasi pada Jar test.....	95
Gambar 4.19 Penyisihan (%) TSS dan COD oleh PAC.....	96
Gambar 4.20 Hasil Pengamatan Limbah Sebelum dan Sesudah Flokulasi dengan Penambahan PAC.....	97
Gambar 4.21 Penyisihan (%) TSS dan COD oleh Aluminium Sulfat.....	99
Gambar 4.22 Hasil Pengamatan Limbah Sebelum dan Sesudah Flokulasi dengan Penambahan Tawas.....	100
Gambar 4.23 Diagram Alir Pengolahan Alternatif I.....	105
Gambar 4.24 Diagram Alir Pengolahan Alternatif II.....	106
Gambar 4.25 Diagram Alir Pengolahan Alternatif III.....	107

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik Limbah Pencelupan Benang.....	41
Tabel 4.2	Data Pengamatan Daya Tahan Tanaman Kana Terhadap Media Tanam Air Limbah Industri Pencelupan Benang	45
Tabel 4.3	Karakteristik Limbah Pencelupan Benang Setelah Pengenceran	47
Tabel 4.4	Tabel Efisiensi Penyisihan BOD Pada Reaktor dengan Penambahan Aerasi	49
Tabel 4.5	Tabel Efisiensi Penyisihan BOD pada Reaktor Uji Tanpa Penambahan Aerasi.....	53
Tabel 4.6	Tabel Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor dengan Penambahan Aerasi.....	59
Tabel 4.7	Tabel Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.....	63
Tabel 4.8	Efisiensi penyisihan TSS untuk reaktor dengan penambahan aerasi.....	69
Tabel 4.9	Efisiensi penyisihan TSS untuk reaktor tanpa penambahan aerasi.....	73
Tabel 4.10	Hasil Pengukuran pH.....	79
Tabel 4.11	Hasil Pengukuran Suhu.....	82
Tabel 4.12	Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Uji.....	84
Tabel 4.13	Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol Tanpa Media.....	86
Tabel 4.14	Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol Dengan Media.....	87
Tabel 4.15	Efisiensi Penyisihan BOD Pada Reaktor Uji.....	88
Tabel 4.16	Efisiensi Penyisihan BOD Pada Reaktor Kontrol Tanpa Media.....	90
Tabel 4.17	Efisiensi Penyisihan BOD Pada Reaktor Kontrol Dengan Media.....	91
Tabel 4.18	Efisiensi Penyisihan TSS Pada Reaktor Uji.....	93

Tabel 4.19	Efisiensi Penyisihan TSS Pada Reaktor Kontrol Tanpa Media.....	94
Tabel 4.20	Efisiensi Penyisihan TSS Pada Reaktor Kontrol Dengan Media.....	95
Tabel 4.21	Karakteristik Limbah Pencelupan Benang.....	98
Tabel 4.22	Uji Penentuan Dosis Optimum PAC.....	99
Tabel 4.23	Uji Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat.....	103
Tabel 4.24	Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif I.....	108
Tabel 4.25	Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif II.....	108
Tabel 4.26	Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif III.....	109



BAB I PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri pencelupan benang dan produk tekstil merupakan salah satu bidang yang sangat berkembang di Indonesia. Perkembangan industri ini dapat dilihat dari nilai ekspor tekstil dan produk benang yang terus meningkat. Terlepas dari peranannya sebagai komoditi ekspor yang diandalkan, ternyata industri tekstil menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan terutama masalah yang diakibatkan oleh limbah cair yang dihasilkan. Industri tekstil mengeluarkan air limbah dengan parameter BOD, COD, padatan tersuspensi dan warna yang relatif tinggi.

Disamping itu limbah cair tsb dapat pula mengandung logam berat yang bergantung pada zat warna yang digunakan. Polutan tersebut pada akhirnya akan berada dalam perairan umum, karena pada proses pencelupan hanya sebagian zat warna yang akan terserap oleh bahan tekstil dan sisanya (2-50%) akan berada dalam efluen tekstil, sehingga apabila konsentrasinya cukup besar, maka dapat mencemari lingkungan. Selain itu efluen tekstil menjadi berwarna-warni dan mudah dikenali pencemarannya.

Zat warna banyak digunakan pada proses pencelupan benang dan pencapan tekstil. Beberapa penelitian penghilangan warna dan senyawa organik yang ada dalam limbah cair industri pencelupan benang dan tekstil telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara kimia menggunakan koagulan seperti pada penelitian yang sudah dilakukan dan mampu mencapai efisiensi penyisihan TSS=96% (Teristyowati, 2005). Secara fisika dengan sedimentasi, adsorpsi dan lain-lain. Pengolahan limbah cair dengan menggunakan proses biologi juga banyak diterapkan untuk mereduksi senyawa organik dari limbah cair industri pencelupan benang dan tekstil.

Tanaman Kana mampu menyisihkan amoniak sampai mencapai 80% (Tricahya, 2007). Selain itu, Kana juga mampu menurunkan

kandungan nitrogen dengan efisiensi 86% dan fosfor sebesar 95% (Herumurti, 2005). Penelitian tersebut yang mendasari ide pembuatan Tugas Akhir “PENYISIHAN BOD₅, COD DAN TSS DALAM LIMBAH INDUSTRI PENCELUPAN BENANG DENGAN METODE BIOREAKTOR KANA (*Canna sp.*) DAN METODE KOAGULASI-FLOKULASI”. Pada penelitian ini diharapkan kandungan polutan organik dari limbah pencelupan benang bisa disisihkan secara optimal dengan bantuan bioreaktor Kana tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Pokok-pokok permasalahan pada Tugas Akhir penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah konsentrasi maksimum polutan organik limbah pencelupan benang yang dapat diturunkan oleh sistem bioreaktor Kana (*Canna sp.*)?
2. Berapakah besar kemampuan bioreaktor Kana (*Canna sp.*) dapat menyisihkan BOD₅, COD dan TSS limbah pencelupan benang?
3. Membandingkan kemampuan sistem bioreaktor Kana (*Canna sp.*) dalam menurunkan polutan organik limbah pencelupan benang dengan menggunakan aerasi dan tanpa menggunakan aerasi?
4. Berapakah efisiensi penyisihan COD dan TSS pada limbah industri pencelupan benang dengan menggunakan koagulasi dan flokulasi?

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Penelitian berskala laboratorium, dilakukan di ruang kaca dengan menggunakan sistem *batch* dan sumber cahaya alami (sinar matahari).
2. Jenis tanaman yang digunakan dalam penelitian adalah Kana (*Canna sp.*).

3. Air limbah yang digunakan adalah limbah pencelupan benang dari *Home Industry* di daerah Jenggolo, Sidoarjo.
4. Dilakukan aklimatisasi (pengadaptasian Kana) selama 21 hari dan *range finding test* (RFT) yaitu penentuan konsentrasi optimum limbah yang dapat diserap oleh Kana dengan indikasi morfologi tanaman.
5. Variasi yang dilakukan yaitu:
 - Variasi konsentrasi limbah.
 - Variasi penggunaan aerasi, yaitu dengan penggunaan aerasi dan tanpa penggunaan aerasi.
6. Parameter utama yang diteliti adalah BOD₅, COD, TSS, pH dan suhu. Pengukuran dilakukan setiap 3 hari sekali selama 30 hari.
7. Reaktor uji yang digunakan sebagai media tanam terbuat dari ember plastik berbentuk silindris berdiameter \pm 35 cm dan tinggi \pm 53 cm dan menggunakan media tumbuh pasir dan kerikil.
8. Digunakan kontrol, yaitu sistem reaktor dengan limbah pencelupan benang tanpa Kana yang diaplikasikan pada limbah dengan dan tanpa menggunakan aerasi.
9. Penambahan koagulan pada limbah pekat dengan *Poly Aluminium Sulfat* (PAC) dan Aluminium sulfat.
10. Metode yang digunakan adalah jar tes.
11. Parameter yang dianalisis adalah COD dan TSS.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

- 1). Menentukan konsentrasi maksimum polutan organik limbah pencelupan benang yang dapat diturunkan oleh sistem bioreaktor Kana (*Canna sp.*)
- 2). Menentukan kemampuan penyisihan BOD₅, COD dan TSS oleh bioreaktor Kana (*Canna sp.*)
- 3). Membandingkan kemampuan sistem bioreaktor Kana (*Canna sp.*) dalam menurunkan polutan organik limbah

pencelupan benang dengan menggunakan aerasi dan tanpa menggunakan aerasi.

- 4). Mengetahui kemampuan penyisihan COD dan TSS pada limbah industri pencelupan benang dengan cara koagulasi dan flokulasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dengan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Dengan diketahuinya tingkat kemampuan Kana (*Canna sp.*) dalam menurunkan polutan organik limbah pencelupan benang dapat dimanfaatkan untuk alternatif pengolahan limbah industri secara alamiah.
2. Penggunaan Kana (*Canna sp.*) sebagai biosorben polutan organik dapat dijadikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN

PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Perusahaan

2.1.1. Umum

Industri pencelupan benang yang menjadi ruang lingkup studi penelitian Tugas Akhir ini merupakan suatu industri dalam skala menengah atau yang biasa disebut *home industry*. Sebagian besar prosesnya dilakukan secara manual. Demikian juga proses pengolahan limbah yang digunakan terkesan sangat sederhana dan hanya berada pada suatu luasan lahan yang tidak terlalu besar.

Industri pencelupan benang ini terletak di Jl. Jenggolo No.1 Sidoarjo. Industri ini bekerja setiap hari melayani pesanan yang ada, bahan mentah benang putih yang sudah jadi dan siap diwarnai didatangkan dari Kota Jakarta.

2.1.2. Urutan Proses Pencelupan Benang

Dalam proses pencelupan benang pada *home industry* ini terdapat beberapa tahapan, antara lain:

1. Proses penggintiran benang

Proses penggintiran benang yaitu suatu proses perangkapan benang *single* menjadi benang rangkap, dimana jumlah rangkapnya tergantung dari pesanan.

2. Proses pencelupan

Yang dimaksud dengan proses pencelupan yaitu untuk memberi warna pada serat benang. Zat warna yang digunakan bergantung pada jenis serat yang digunakan. Tiap jenis serat dapat diwarnai dengan berbagai jenis warna. Zat-zat kimia yang digunakan tergantung pada jenis warna yang diinginkan.

3. Proses pencucian

Pencucian dilakukan untuk menghilangkan zat warna yang tidak benar-benar melekat pada serat benang selama proses pencelupan.

4. Proses pengeringan

Proses pengeringan dilakukan untuk mengeringkan benang yang masih basah sesudah pencucian. Pengeringan benang dilakukan dengan cara penjemuran benang di bawah terik matahari seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Bila kondisi sedang hujan benang-benang yang sudah dicuci diletakkan di ruangan khusus dan diangin-anginkan dengan bantuan blower.

5. Proses pemuntiran

Benang-benang yang sudah melalui proses pengeringan sebelum dimasukkan ke dalam kemasan plastik dipuntir terlebih dahulu agar benang lebih mudah ketika dimasukkan ke dalam kemasan dan yang terakhir adalah pemberian label.



Gambar 2.1 Proses Pengeringan Benang

2.1.3. Unit Pengolahan Limbah pada Industri Pencelupan Benang

Air hasil pencelupan benang yang tidak terpakai lagi langsung mengalir melewati saluran pembawa air limbah yang bermuara pada bak pengumpul limbah, yang merupakan lokasi pengambilan sampel (Gambar 2.2.). Dalam bangunan ini, air limbah tidak mengalami perlakuan fisik dan kimiawi hanya

dikumpulkan saja. Kemudian dialirkan menuju suatu bak penampungan limbah yang terdiri dari 12 kompartemen (Gambar 2.3.), di bangunan ini air limbah juga hanya dialirkan begitu saja, yang nantinya akan menuju bak pengendap (Gambar 2.4.). Setelah melalui bak pengendap, air kembali dialirkan menuju badan air penerima.



Gambar 2.2 Bak Pengumpul Limbah dan Lokasi Pengambilan Sampel



Gambar 2.3. Bak Penampungan Limbah



Gambar 2.4. Bak Pengendap

2.1.4. Zat Warna

Pewarnaan pada dasarnya merupakan proses melarutkan atau mendispersikan zat warna dalam air atau medium lain. Kemudian memasukkan bahan tekstil ke dalam larutan berwarna tersebut sehingga terjadi penyerapan zat warna ke dalam serat. Penyerapan zat warna ke dalam serat merupakan suatu reaksi eksotermik dan reaksi keseimbangan. Beberapa zat pembantu misalnya garam, asam, alkali, atau lainnya ditambahkan ke dalam larutan dan kemudian pewarnaan diteruskan hingga diperoleh warna yang diinginkan.

Dalam *home industry* pencelupan benang ini digunakan 3 jenis zat warna utama dalam pewarnaan, yaitu (Susanti, 1995):

⊕ Zat warna bejana

Zat warna bejana merupakan salah satu zat warna alam yang telah lama digunakan untuk mencelup tekstil. Zat warna bejana termasuk golongan zat warna yang tidak larut dalam air dan tidak dapat mewarnai serat selulosa secara langsung. Zat warna bejana yang digunakan adalah Indantren dengan bahan

pembantu kaustik dan hidrosulfit. Pada dasarnya pencelupan dengan zat warna bejana terdiri dari 4 tahap, yaitu:

- Pembejanaan, yaitu membuat larutan bejana yang mengandung senyawa leuko.
- Pencelupan serat-serat tekstil dengan senyawa leuko.
- Oksidasi senyawa leuko berubah menjadi senyawa asal.
- Pencucian dengan sabun.

Sifat-sifat zat warna bejana menurut struktur kimianya dapat dibagi menjadi 2 golongan, yaitu:

- 1) Golongan Indigoida yang mengandung kromofor
-CO-C=C-CO-
- 2) Golongan antrakinoida

Sifat-sifat zat warna bejana:

- Tahan cuci yang baik.
- Tahan sinar dan tahan larutan hipoklorit.

✦ Zat warna naftol

Zat warna yang terbentuk di dalam serat pada waktu pencelupan adalah hasil reaksi komponen senyawa naftol dengan garam diazonium yang terdiri dari senyawa amina aromatik.

Sifat-sifat zat warna naftol antara lain:

- Termasuk zat warna azo yang tidak larut dalam air.
- Daya serap (substantivitas) terhadap selulosa kurang baik dan bervariasi sehingga dapat dibedakan menjadi 3 golongan, yaitu Naftol AS (substantivitas rendah), Naftol AS-G (substantivitas sedang) dan Naftol AS-BO (substantivitas tinggi).

Mekanisme pencelupannya adalah sebagai berikut:

1. Melarutkan naftol

Zat utama yang digunakan adalah natrium hidroksida. Larutan yang terjadi adalah jernih. Pembuatan larutan naftolat ini dapat dilakukan dengan cara dingin yaitu mendispersikan naftol dengan larutan natrium hidroksida, kemudian ditambahkan air dingin.

2. Pencelupan dengan naftolat

Zat warna naftol tidak larut dalam air dan tidak mempunyai afinitas terhadap selulosa. Akan tetapi setelah dilarutkan menjadi larutan naftolat yang larut dalam air timbul afinitasnya, sehingga serat dapat tercelup. Bahan yang telah dicelup perlu diperas, sebelum dibangkitkan dengan garam diazonium.

3. Diazotasi

Garam diazonium yang digunakan dapat berupa basa naftol, yaitu senyawa amina aromatik maupun garam diazonium.

4. Naftolat yang telah berada didalam serat perlu dibangkitkan dengan larutan garam diazonium agar terjadi pigmen naftol yang berwarna dan terbentuk didalam serat.

⊕ Zat warna sulfur

Zat warna belerang merupakan suatu zat warna yang mengandung unsur belerang didalam molekulnya baik sebagai kromophornya maupun gugus lain yang berguna dalam pencelupannya. Struktur molekul zat warna belerang merupakan molekul yang kompleks dan tidak larut dalam air. Maka dalam pencelupannya diperlukan reduktor natrium sulfide dan soda abu untuk melarutkannya. Zat warna ini hasil pencelupan benang dengan warna hitam. Zat warna yang digunakan adalah sulfur *black* dengan sodium sulfide.

Mekanisme pencelupannya secara umum seperti berikut:

1). Melarutkan zat warna

Zat utama yang digunakan adalah larutan natrium sulfida (Swafel Natrium = SN) dengan atau tambahan natrium karbonat.

2). Mencilup

Bentuk zat warna yang telah tereduksi tersebut mempunyai afinitas terhadap selulosa, sehingga dapat mencelupnya.

3). Membangkitkan warna (oksidasi)

Zat warna dalam bentuk tereduksi yang telah berada didalam serat tersebut harus diubah kembali menjadi bentuk semula yang mempunyai ukuran molekul yang besar, sehingga tidak dapat keluar kembali.

Sifat-sifat zat warna belerang, adalah:

- Harganya murah
- Cara pemakaiannya mudah
- Tahan terhadap pencucian
- Ketahanan terhadap sinar cukup, tapi warnanya agak suram dan tidak tahan terhadap khlor.
- Setiap struktur molekulnya terdapat rantai belerang
- Mempunyai gugus kromofor S-S
- Tidak larut dalam air, tetapi larut dalam natrium sulfide sebagai larutan pereduksi, dengan atau tanpa penambahan natrium karbonat.

2.2. Tumbuhan Kana (*Canna sp.*)

Tanaman kana tumbuh merumpun, bersifat semusim, tetapi dapat hidup lebih dari setahun. Tanaman induk yang mati digantikan secara terus-menerus oleh anakan (tunas samping), sehingga rumpun tanaman tetap hijau sepanjang tahun. Dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman kana diklasifikasikan sebagai berikut (Rukmana, 1997 dalam Prihastri, 2006):

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub-divisi	: Angiospermae
Kelas	: Liliopsida (berkeping satu/monokotil)
Sub Kelas	: Commelinidae
Ordo	: Zingiberales
Famili	: Cannaceae
Spesies	: <i>Canna indica</i> L.



Spesies tanaman kana, antara lain: kana hibrida (*C. hybrida*) dan ganyong atau senitra (*C. edulis*). Nama daerah tanaman kana antara lain lili kana, kembang tasbih, panah india, atau ganyong alas. Gambar tanaman kana dapat dilihat pada Gambar 2.1. Tanaman kana memiliki daya adaptasi yang baik terhadap lingkungannya. Tanaman ini mampu tumbuh di dataran rendah sampai dataran tinggi. Tanaman kana dapat tumbuh dengan baik pada daerah bersuhu antara 18 °C-32 °C. Tanaman ini toleran terhadap curah hujan, tetapi umumnya tumbuh optimum di daerah bercurah hujan lembab sampai basah. Sedangkan pH tanah optimum bagi pertumbuhannya antara 5,0-7,5.

Organ utama tanaman kana terdiri atas akar (rimpang), batang semu, daun, bunga, buah, dan biji. Perakaran tanaman kana disebut rimpang (geragih) yang menyebar ke semua arah pada permukaan tanah sedalam 30-40 cm. Masing-masing rimpang dapat tumbuh memanjang dan mengandung mata tunas yang dapat tumbuh menjadi tanaman baru (anakan).



Gambar 2.5. *Canna* sp.
(Sumber: Anonim, 2007)

Batang tanaman kana banyak mengandung air (*herbaceous*), terbentuk dari pelepah-pelepah daun yang saling

menutupi satu sama lain, sehingga disebut batang semu. Batang semu ini dapat mencapai ketinggian 150 cm atau lebih, tergantung jenis kana, kesuburan tanah, dan keadaan lingkungan tumbuh. Rumpun tanaman kana terdiri atas beberapa anakan, dan tiap anakan berdaun 5-10 helai. Daun tersusun dalam tangkai pendek yang tumbuh berseling-seling. Daun berbentuk oval dengan ujung runcing. Permukaan daun bagian atas berwarna hijau, tembaga gelap atau merah keunguan, sedangkan permukaan bagian bawah tertutup lapisan putih (Rukmana, 1997 dalam Prihastri, 2006).

Pada fase pembungaan, tangkai bunga muncul dari ujung tanaman dan tumbuh tegak setinggi 40-60 cm menyangga beberapa kuntum bunga. Kuntum bunga mekar tidak bersamaan. Kuntum bunga berbentuk mirip corong, terdiri atas 3-5 helai mahkota bunga, yang berukuran kecil sampai besar tergantung jenis kana. Bunga kana termasuk bunga sempurna (*hermaphrodite*), tetapi kadang-kadang benang sarinya tidak memiliki kepala sari atau benang sari mandul. Buah kana berukuran kecil, berbentuk bulat dengan kulit berbintil-bintil halus, dan di dalamnya terdapat biji. Biji yang masih muda berwarna hijau keputih-putihan, dan setelah matang/masak berubah menjadi hitam mengkilap. Biji kana berbentuk bulat kecil. Biji ini dapat digunakan sebagai bahan perkembangbiakan tanaman secara generatif.

Siklus hidup tanaman kana melalui beberapa tahap (periode) pertumbuhan. Pada fase awal pertumbuhan vegetatif muncul tunas dari rimpang (geragih). Kemudian setelah berumur 3-5 minggu tumbuh beberapa helai daun. Tanaman muda tumbuh menjadi tanaman dewasa ditandai dengan tumbuhnya helaian daun berukuran normal maksimal, yakni pada umur 8-10 minggu. Tanaman yang berumur 12-14 minggu mulai berbunga (fase generatif). Kuntum bunga yang telah mekar penuh, lambat

laun layu dan berguguran. Batang induk layu dan mati, tetapi rimpang di dalam tanah dapat tumbuh kembali setelah mengalami masa istirahat selama beberapa minggu. Rimpang ini dapat dibongkar sebagai pengembangbiakan secara vegetatif. Kana sangat menyenangi tanah yang gembur dan lembab pada saat pertumbuhannya. Kana akan rajin berbunga jika langsung terkena sinar matahari penuh dan cukup air (Rukmana, 1997 *dalam* Prihastri, 2006).

2.3. Teknologi Pengolahan Limbah Dengan Tumbuhan Air

2.3.1. *Wetland*

Definisi *wetland* sangat beragam diantaranya *wetland* adalah suatu lahan yang jenuh air dengan kedalaman air tipikal yang kurang dari 0,6 m yang mendukung pertumbuhan tanaman air emergent misalnya *Cattail*, *Bulrush*, *Umbrella plant* dan *Canna* (Metcalf and Eddy, 1991).

Berbagai penelitian membuktikan bahwa *wetland* merupakan ekosistem produktif yang mendukung tumbuhnya berbagai tumbuhan dan berbagai varietas kehidupan hewan. *Wetland* juga dapat meningkatkan kualitas air yang mengalir melewatinya dengan menyaring bahan pencemar, mendegradasi bahan polutan, dan menyisihkan bahan-bahan kimia. Penemuan ini memunculkan ide untuk menggunakan *wetland* sebagai pengolah air buangan. Saat ini *wetland* buatan mengolah limbah pabrik pulp, lindi dari *landfill*, limbah peternakan, limbah domestik, limbah tekstil dan efluen dari industri fotografi (Moore, 1993).

Menurut (Novotny dan Olem, 1994 dalam Pancawardani, 2004), proses untuk penyisihan polutan dengan teknologi rawa buatan (*Constructed wetland*) dikelompokkan sebagai berikut :

1. Proses fisik

- a) Sedimentasi
- b) Filtrasi

2. Proses kimia fisik yaitu,

Proses adsorpsi bahan polutan oleh tanaman dan tanah serta substrat organik

3. Proses biokimia

- a) Proses degradasi material organik secara aerobik oleh bakteri di dalam air, terlekat pada tanaman, batang, lapisan teratas sedimen, dan zona aerobik di dekat sistem perakaran tanaman
- b) Proses nitrifikasi dengan bantuan bakteri nitrifikasi, pada lapisan sedimen teratas dari tanaman, dan sistem perakaran serta bagian batang tanaman
- c) Proses denitrifikasi oleh bakteri pada bagian sedimen dan air pada kondisi anaerobik
- d) Dekomposisi secara anaerobik material organik pada sedimen dan air pada kondisi anaerobik
- e) Pengambilan nutrisi dari bahan pencemar oleh tanaman yang kemudian akan berkaitan dengan pembentukan biomassa tanaman baru.

Peran rawa buatan dalam proses penghilangan bahan pencemar dari air limbah dengan melihat aspek fisik, kimia dan biologis adalah sebagai berikut (Wildenman dan Laudon dalam Khatuddin, 2003):

1. Penyaringan bahan suspensi dan koloida yang terdapat dalam air
2. Asimilasi bahan pencemar ke dalam jaringan akar dan daun tumbuhan hidup
3. Pengikatan atau pertukaran bahan pencemar dengan tanah rawa, bahan tanaman mati dan bahan alga hidup

4. Presipitasi (pembentukan partikel) dan netralisasi melalui pembentukan NH_3 dan HCO_3^- (bikarbonat) dari penguraian biologis karena kegiatan bakteri.

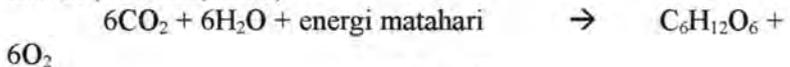
2.3.2 Kebutuhan Unsur Hara Oleh Tumbuhan

Unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan air dapat dibedakan menjadi (Suwariyanti, 2002) :

1. Unsur makro, yaitu unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang besar. Yang termasuk dalam unsur makro adalah C, H, O, N, S, P, K, Ca, dan Mg.
2. Unsur mikro, yaitu unsur yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah kecil. Unsur mikro ini adalah Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co dan Cl.

2.3.3 Fotosintesis

Fotosintesis atau yang biasa dikenal dengan asimilasi zat karbon merupakan pemakaian energi matahari oleh klorofil tumbuhan hijau dengan cara mengkombinasikan antara CO_2 , H_2O dan senyawa anorganik yang lain untuk diubah menjadi zat organik karbohidrat dan sel baru. Reaksi fotosintesis yang terjadi adalah (Prihastri, 2006):

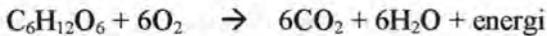


Klorofil

2.3.4 Respirasi

Selain fotosintesis, dalam daur hidupnya tumbuhan juga melakukan kegiatan bernafas atau yang biasa dikenal dengan sebutan respirasi. Respirasi merupakan proses pembentukan energi yang dapat langsung dipakai untuk proses hidup. Dalam proses respirasi, tumbuhan menggunakan oksigen dan glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) hasil fotosintesis untuk membentuk karbondioksida

(CO₂) dan H₂O. Secara sederhana reaksi respirasi adalah (Pancawardani, 2004):



2.3.5 Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan

Untuk pertumbuhannya kudu menyerap unsur-unsur yang diperlukan dari media tanamnya. Unsur-unsur tersebut dapat diserap oleh tanaman jika larut dalam air. Sebagian besar unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan diserap melalui akar, sedangkan untuk karbon dan oksigen diserap melalui daun. Unsur-unsur hara yang diserap oleh tumbuhan terdapat dalam bentuk kation atau anion yang terlarut dalam air.

Penyerapan unsur-unsur hara oleh akar melibatkan beberapa proses, antara lain:

- 1). Pergerakan ion dari media tempat hidup tumbuhan menuju ke permukaan akar tumbuhan.
- 2). Penimbunan ion dalam akar.
Proses penimbunan ini dianggap sebagai tahap pertama dalam proses penyerapan unsur-unsur hara melalui akar.
- 3). Pergerakan ion dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu.
- 4). Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun (Dwijoseputro, 1980).

2.3.6 Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik

Pada prinsipnya, sistem lahan basah/rawa adalah menganut sistem *trickling filter* dengan aliran vertikal maupun horisontal dengan bangunan *secondary clarifier* terbentuk di dalamnya dengan tanaman yang ditunjang dengan media kerikil atau media lain. Dalam sistem *aquatic*, bahan organik yang dapat terendapkan akan dihilangkan dengan sedimentasi dan penguraian anaerobik pada dasar kolam. Bahan organik yang

tersisa pada larutan dihilangkan oleh aktivitas metabolisme dari mikroorganisme yang tersuspensi di dalam air, melekat pada sedimen/pada akar, batang tumbuhan air (Polprasert, 1996).

Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme adalah sebagai berikut:

Aktivitas mikroorganisme

Bahan organik \rightarrow asam-asam organik + NH_3 + CO_2 + H_2O

Respirasi/fermentasi

Asam-asam organik hasil penguraian mikroorganisme dapat diabsorpsi oleh tumbuhan air melalui akar. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul/ion yang dapat diserap oleh tumbuhan. Proses penyerapan ion oleh tumbuhan akan mencegah terjadinya penumpukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi bakteri itu sendiri.

2.4. Media

Media tanam berfungsi sebagai tempat tumbuh tumbuhan serta sebagai tempat hidup mikroorganisme pengurai. Selain itu media juga berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses penyisihan bahan polutan. Media yang biasa digunakan dalam pengolahan bahan polutan adalah tanah, pasir dan kerikil (Herumurti, 2006). Dalam proses penurunan kandungan padatan dalam air limbah, media berperan penting. Hal ini dikarenakan pada media terjadi proses fisik yang utama, yaitu proses sedimentasi dan filtrasi yang akan menghasilkan penurunan kandungan solid (Cooper dan Findlater, 1990).

Media yang sudah banyak digunakan dalam teknologi pengolahan air limbah yang memanfaatkan tumbuhan air adalah pasir dan kerikil. Untuk media pasir dapat digunakan pasir dari sungai sedangkan media kerikil didapatkan dari ayakan pasir.

Klasifikasi media tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 1991) :

1. Media pasir

Media pasir tersusun dari butir-butir paling banyak antara saringan 2 mm dan 63 μm dan dapat dilihat dengan mata telanjang. Pasir dapat diklasifikasikan sebagai pasir seragam atau berdegradasi baik menurut pembagian ukuran butiran. Pasir seragam dapat dibagi ke dalam media pasir sangat halus, pasir halus, dan pasir kasar.

2. Media kerikil (*Gravel*)

Media ini pada umumnya tidak memiliki kandungan pasir. Ukuran pori besar paling banyak antara saringan 80 mm dan 2 mm sehingga daya hantar air limbah menjadi cepat. Kerikil berbentuk agak membulat atau sangat tidak teratur atau dapat juga gepeng, mempunyai ruang-ruang diantara butir-butir besar.

2.5. Aerasi

Aerasi merupakan istilah lain dari transfer gas dari fase gas ke fase cair yang lebih dikhususkan pada oksigen. Aerasi adalah proses transfer oksigen yang berlangsung secara fisik. Aerasi adalah proses memasukkan udara atau oksigen murni ke dalam air limbah (Sugiharto, 1987). Udara yang dimasukkan adalah berasal dari udara luar yang dialirkan dalam air limbah. Di dalam aerasi terjadi proses dimana area terjadinya kontak antara air dengan udara meningkat, baik secara alami maupun secara buatan dengan menggunakan alat. Transfer oksigen adalah salah satu jenis transfer gas dimana hal ini gas yang di transfer adalah oksigen. Sedangkan aerasi adalah salah satu metode transfer oksigen yang dilakukan secara fisik. Aerasi sebagai salah satu sarana untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut, yang merupakan parameter yang penting dalam peningkatan kualitas air (Eckenfelder, 1991).

2.6. Parameter Analisis

Penelitian ini meliputi analisis parameter yang diukur, di antaranya (Alaerts dan Santika, 1987):

2.6.1. Analisis pH

pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi. Ion hidrogen (H^+) merupakan faktor utama untuk mengetahui reaksi kimiawi, karena:

- H^+ selalu ada dalam keseimbangan dinamis dengan air membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air, dimana sumber hidrogen tidak pernah habis.

- H^+ tidak hanya merupakan unsur molekul H_2O saja, tetapi juga merupakan unsur banyak senyawa lain sehingga jumlah reaksi tanpa H^+ dapat dikatakan hanya sedikit saja.

2.6.2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah jumlah oksigen ($mg O_2$) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air.

2.6.3. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biologis adalah suatu analisis empiris yang mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Pengukuran BOD didasarkan

atas reaksi biologis yang dilakukan pada temperatur inkubasi 20°C dan dilakukan selama 5 hari.

2.6.4. Analisis TSS (*Total Suspended Solid*)

Zat padat tersuspensi merupakan salah satu komponen penting dalam limbah domestik. Keberadaan TSS dalam air limbah dapat menyebabkan kekeruhan dan warna. Selain itu TSS dapat mengendap dan menjadi *sludge deposit* jika air limbah langsung dibuang ke badan air. Kekeruhan yang diakibatkan oleh TSS dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air sehingga mengganggu fotosintesis tumbuhan di dasar air. Efek negatif selanjutnya adalah punahnya tumbuhan air dan konsumen lain dalam rantai makanan serta terganggunya reproduksi hewan air. Keberadaan TSS organik menjadi penyebab turunnya kandungan oksigen dalam air.

TSS adalah padatan yang tertahan saat dilakukan penyaringan terhadap air limbah. Sedangkan zat padat yang lolos bersama filtrat merupakan zat padat yang terlarut. TSS dapat dibedakan lagi menjadi dua yaitu TSS organik atau biasa juga disebut sebagai TSS *volatile* dan TSS *non volatile* atau TSS anorganik. TSS organik adalah TSS yang menguap pada pemanasan dengan suhu $550 \pm 50^{\circ}$ C. Sedangkan TSS anorganik tertinggal sebagai abu pada pemanasan pada suhu tersebut. Kandungan TSS dalam air limbah dapat diketahui dengan analisis gravimetri.

2.7. Pengolahan Secara Fisik-Kimia

2.7.1 Proses Koagulasi dan Flokulasi

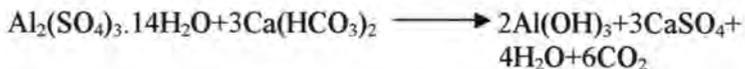
Koagulasi adalah proses pencampuran koagulan dalam air melalui pengadukan cepat dengan tujuan untuk mengurangi gaya tolak menolak antara partikel koloid. Proses Flokulasi adalah proses pembentukan flok-flok melalui pengadukan lambat setelah sebelumnya terjadi proses koagulasi, sehingga akan memudahkan dalam proses pengendapan.

Perbedaan utama antara proses koagulasi dan flokulasi adalah pada koagulasi berlaku teori destabilisasi partikel koloid sedangkan pada proses flokulasi berlaku teori tumbukan atau kontak antara partikel yang mengalami destabilisasi. Koagulasi-flokulasi biasanya dilakukan pada pengolahan limbah karena tingkat kekeruhan dan *suspended solidnya* tinggi (Reynold, 1996). Jadi bila kadar CODnya tinggi maka kekeruhannya juga tinggi sehingga penurunan COD dapat menggunakan proses koagulasi-flokulasi. Menurut Gustan, 2002 dalam Teristyowati, N, 2005, dinyatakan bahwa koagulasi-flokulasi dapat menurunkan COD sekitar 40-70%.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya proses koagulasi-flokulasi yaitu kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi-flokulasi, dosis koagulan dan flokulan pembantu jika diperlukan.

2.7.2 Koagulan Aluminium Sulfat

Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) atau sering disebut tawas merupakan salah satu koagulan yang sering digunakan dalam koagulasi-flokulasi karena harganya relatif murah, mudah didapat dan mudah dalam penyimpanannya. Reaksi kimia untuk menghasilkan flok adalah:



Derajat pH yang optimum untuk alum berkisar 4,5-8, karena aluminium hidroksida relatif tidak terlarut (Reynold, 1996). Alum dapat bekerja efektif pada pH 6,8-7,8 (Rinawati, L, 1995). Menurut Sukmawati, D, 2004 menyebutkan bahwa dosis optimum dari aluminium sulfat untuk koagulasi-flokulasi berada pada 100-300 mg/L.

2.7.3 Koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*)

Poly Aluminium Chloride (PAC) adalah koagulan dengan rumus kimia $(Al_{10}(OH)_{15}(Cl)_{15})$, dimana sebagai unsur dasarnya adalah Al_2O_3 (10-11%) (Watanabe dan Ushiyama, 1999 dalam Teristyowati, N, 2005). Koagulan PAC merupakan polimer dari garam aluminium (Al_2O_3). PAC dibuat dengan mereaksikan (Al_2O_3) dan HCl pada temperatur yang tinggi untuk membentuk $AlCl_3$, yang kemudian direaksikan dengan larutan basa pada temperatur dan tekanan yang tinggi untuk membentuk polimer-polimer Al. Koagulan PAC terdiri dari $AlCl_3$ yang terhidrolisis sebagian yang dibuat dengan penambahan larutan basa aluminium klorida pada konsentrasi $AlCl_3$ yang pekat (Citrasari, V, 2004).

PAC merupakan koagulan inorganik dengan berat molekul berkisar 100-1000 dan mudah diaplikasikan pada keadaan pH 5-8 (Watanabe dan Ushiyama, 1999 dalam Teristyowati, N, 2005). Menurut Citrasari, V, 2004, koagulan PAC lebih efektif bila bekerja pada pH 4,5-7. Beberapa keuntungan menggunakan PAC sebagai koagulan antara lain:

1. Aluminium bersifat amfoter.
2. Lebih efektif sebagai koagulan dibandingkan $Al_2(SO_4)_3$.
3. Membutuhkan alkalinitas rendah.
4. Efektif pada suhu air yang rendah.
5. Dapat membentuk ion kompleks dan polimer.
6. Merupakan unsur terbanyak ketiga pada kulit bumi setelah oksigen dan silikon.
7. Mudah didapat dan tidak berbahaya.

Kerugian menggunakan PAC sebagai koagulan:

1. Harganya yang mahal dibandingkan $Al_2(SO_4)_3$.
2. Flok yang terbentuk rata-rata ringan.
3. Keefektifan berkurang pada pH di atas 8.



BAB III

METODOLOGI

PENELITIAN

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap kemampuan bioreaktor tanaman Kana (*Canna sp.*) dalam menurunkan kandungan zat kandungan organik dalam limbah *home industry* pencelupan benang. Analisis dilakukan terhadap variasi ada tidaknya aerasi dan konsentrasi limbah. Berdasarkan hasil penelitian akan diketahui besarnya efisiensi penurunan kandungan zat kandungan organik oleh tanaman tersebut.

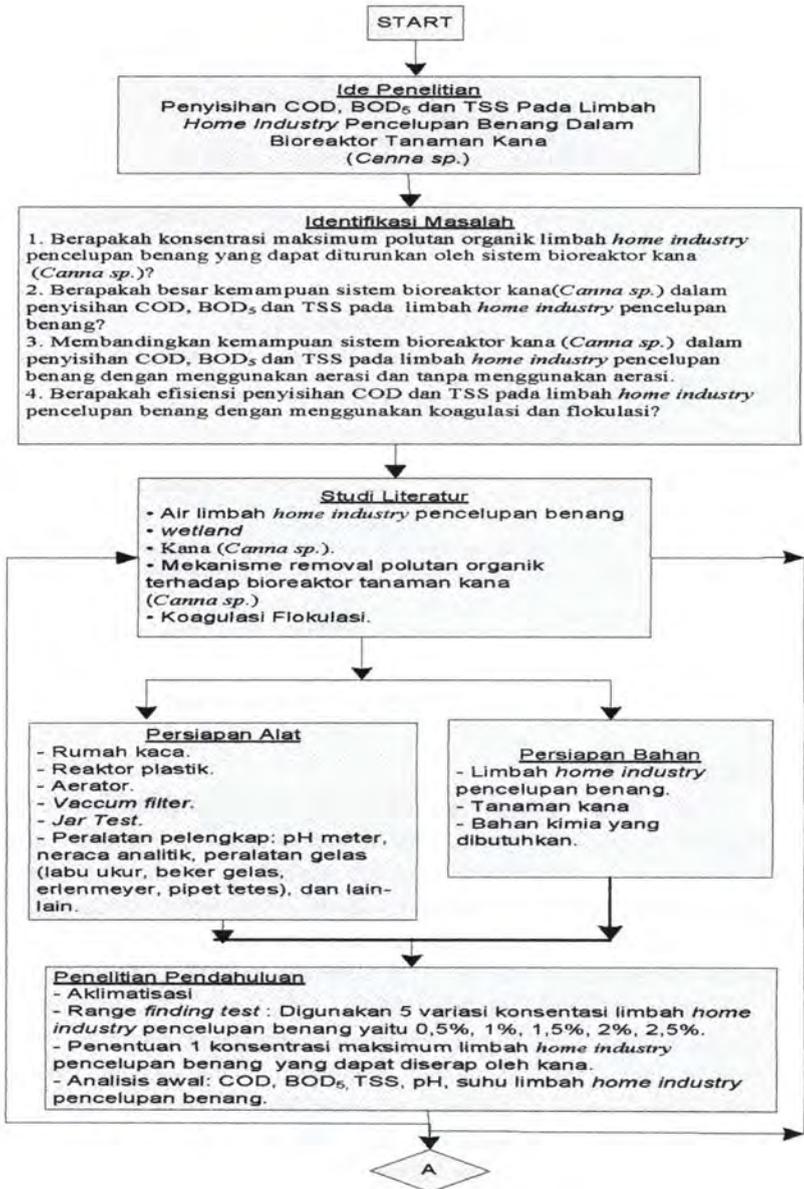
Selain itu juga dilakukan pengukuran terhadap penyisihan COD dan TSS melalui proses koagulasi flokulasi dengan jar tes sebagai alternatif pengolahan pendahuluan sebelum limbah *home industry* pencelupan benang diaplikasikan dalam sistem bioreaktor Kana. Koagulan yang digunakan yaitu PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan Aluminium Sulfat atau tawas. Dari kedua jenis koagulan tersebut, nantinya akan ditentukan salah satu jenis koagulan yang paling efektif untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah pencelupan benang.

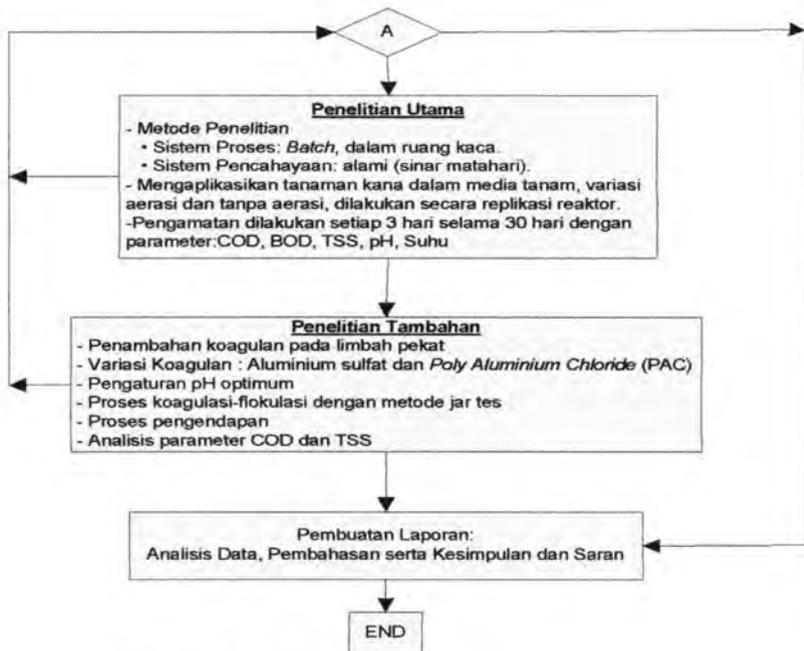
Sebelum dilakukan penelitian, perlu disusun sebuah metodologi penelitian dengan tujuan sebagai berikut:

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian dengan adanya kerangka penelitian secara sistematis yang digunakan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir.
3. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
4. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama melakukan penelitian.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran umum mengenai tahapan-tahapan yang perlu dilakukan dalam penelitian. Kerangka penelitian tentang Penyisihan BOD₅, COD, dan TSS Pada Limbah Pencelupan Benang Dengan Bioreaktor Tanaman Kana (*Canna sp.*) dengan variasi aerasi pada sistem reaktor *batch* dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Kerangka Penelitian

3.3. Ide Studi

Ide tugas akhir ini adalah mengenai penurunan kandungan organik dengan menggunakan sistem bioreaktor tanaman Kana (*Canna Sp.*) dengan variasi penambahan media dan tanpa penambahan media. Pemilihan ide ini dikarenakan pada industri tekstil khususnya pencelupan benang memiliki kandungan organik yang cukup tinggi hal ini telah dibuktikan pada penelitian yang dilakukan sebelumnya. Nilai BOD_5 , COD dan TSS awal limbah sangat tinggi. Kandungan organik ini diharapkan dapat disisihkan dengan menggunakan sistem bioreaktor Kana dengan efisiensi penyisihan yang optimum. Namun karena sistem bioreaktor tersebut hanya merupakan pengolahan tersier, maka perlu pengolahan pendahuluan sebelum limbah masuk ke sistem

bioreaktor untuk mengurangi kandungan organik dalam limbah. Oleh karena itu, dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan koagulan pada limbah pekat sebelum masuk ke sistem bioreaktor dengan menggunakan jar tes untuk penentuan dosis optimum penambahan koagulannya.

3.4. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, penentuan variabel penelitian, persiapan alat dan bahan, penelitian pendahuluan, pelaksanaan penelitian, analisis parameter, analisis data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung jalannya penelitian mulai dari awal hingga penyusunan laporan serta untuk mendapatkan dasar teori yang kuat berkaitan dengan penelitian ini sehingga dapat menjadi acuan dalam melaksanakan analisis dan pembahasan.

Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku-buku teks, laporan penelitian tugas akhir, dan tesis mengenai penelitian terdahulu tentang pengolahan limbah dengan tumbuhan air. Selain itu, sumber literatur juga diperoleh dari internet.

Studi literatur ini dilakukan sepanjang penelitian yakni mulai dari tahap awal penelitian sampai analisis dan pembahasan hasil penelitian sehingga dapat diperoleh kesimpulan.

Secara garis besar ada tiga hal utama dalam studi literatur ini, yaitu:

1. Kualitas dan karakteristik dari limbah pencelupan benang.
2. Dasar-dasar metoda *wetland*.
3. Dasar-dasar mengenai uji beberapa parameter yang diteliti.
4. Mekanisme penyerapan kandungan organik dalam sistem bioreaktor
5. Koagulasi-flokulasi

3.4.2. Variabel dan Parameter Penelitian

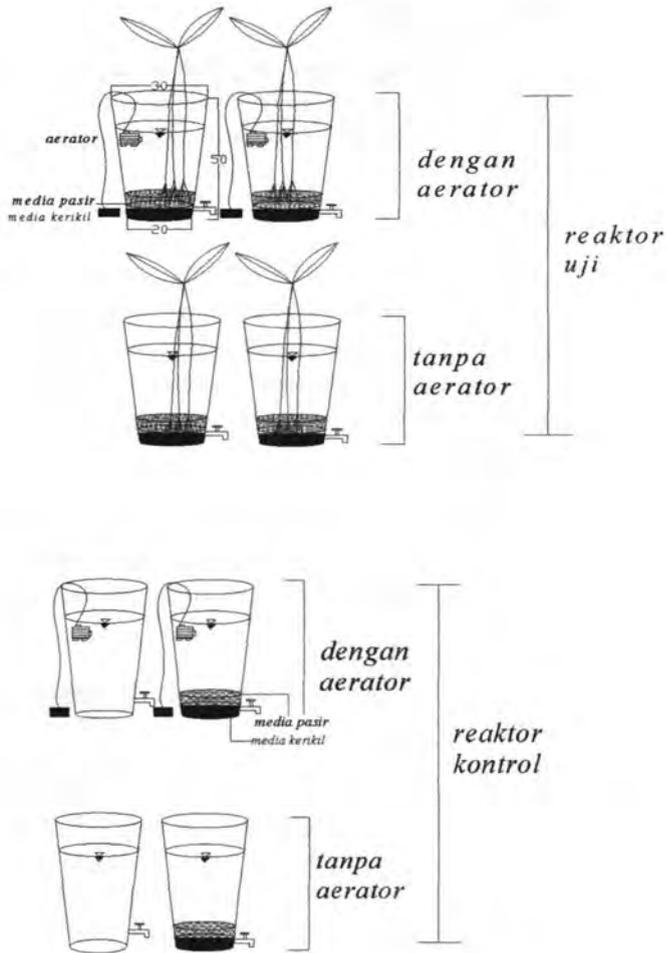
Variabel penelitian ditentukan dengan tujuan agar penelitian lebih terarah sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Variabel penelitian yang digunakan adalah variasi penggunaan aerasi atau tidak serta konsentrasi limbah. Sedangkan parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kandungan kandungan organik serta pengamatan morfologi tanaman.

3.4.3. Persiapan Alat dan Bahan

A. Alat Penelitian

Sebelum dilakukan penelitian, disiapkan terlebih dahulu peralatan yang akan digunakan. Peralatan yang digunakan antara lain :

- Reaktor
Reaktor yang digunakan berupa ember terbuat dari plastik berbentuk silinder volume ± 20 Liter dengan diameter ± 35 cm, tinggi ± 53 cm. Dimensi tersebut disesuaikan dengan morfologi tumbuhan uji dan kebutuhan tumbuh dari tumbuhan uji hingga akhir penelitian.
- Reaktor diletakkan di dalam rumah kaca agar tumbuhan yang diteliti terhindar dari gangguan hama dan hujan tetapi tetap memperoleh sinar matahari dan sirkulasi oksigen.
- pH meter.
- Aerator.
- *Vaccum Filter*.
- *Jar Test*.



Gambar 3.2. Reaktor kontrol dan uji, dengan aerator dan tanpa aerator

B. Bahan Penelitian

1. Air Limbah

Air limbah yang digunakan adalah limbah yang berasal dari *home industry* pencelupan benang di daerah Jenggolo, Sidoarjo. Tanaman uji diperkirakan lebih tahan dan dapat menyisihkan kandungan organik sesuai dengan parameter yang diteliti.

2. Air pengencer

Air kolam yang diperoleh dari *bozem*/danau yang berada di depan jurusan Biologi ITS Surabaya. Tujuan pemilihan air tsb adalah untuk menyesuaikan dengan habitat tanaman yang terbiasa hidup di tepian kolam/sungai. Volume total masing-masing reaktor sebesar 20 liter.

3. Media Tanam

Media yang digunakan meliputi pasir dan kerikil, dimana pada masing-masing media akan dilakukan beberapa perlakuan sebelum dipergunakan sebagai media tanam.

* Media Pasir

Untuk media pasir akan melalui proses pengayakan untuk mendapatkan media pasir dengan ukuran yang seragam. Selain itu media pasir akan melalui proses pencucian dengan air PDAM yang kemudian dilakukan proses penjemuran. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan media pasir yang bersih dari pengganggu. Kemudian pasir yang digunakan diayak di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil, sehingga lolos ayakan no 10

* Media Kerikil

Media kerikil yang dipergunakan adalah kerikil dengan ukuran diameter sebesar (1-3 cm). Media kerikil ini akan melalui proses pencucian dengan air PDAM dan penjemuran sebelum dipergunakan. Hal ini untuk mendapatkan media kerikil yang bersih dari pengganggu.

4. Tanaman Uji

Pada penelitian ini tanaman uji yang akan dipergunakan adalah Tanaman Kana (*Canna Sp.*). pemilihan tanaman ini disebabkan Tanaman Kana memiliki harga yang relatif murah dan memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi sehingga diperkirakan akan mampu bertahan hidup dengan kondisi karakteristik limbah yang ada. Tanaman Kana yang dipergunakan didapatkan dari kebun bibit Bratang, dimana akan dipergunakan tanaman Kana dengan usia 8-10 minggu dikarenakan pada usia tsb tanaman diperkirakan mampu bertahan terhadap kandungan organik limbah yang tinggi.

Sebelum dipergunakan sebagai tanaman uji, tanaman Kana dalam *polybag* dikondisikan dalam ruang kaca, hal ini bertujuan agar tanaman tersebut terbiasa dan dapat menyesuaikan diri dengan kondisi ruang kaca. Selama pengkondisian tanaman disiram dengan air PDAM setiap harinya untuk menjaga kesegaran dari tanaman, setelah 1 minggu pengkondisian akan dipilih tanaman yang sehat dan bebas dari penyakit untuk dipindah ke reaktor penelitian.

5. Bahan kimia untuk analisis COD

- ✚ Kristal Merkuri Sulfat (HgSO_4)
- ✚ Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,25 N.
- ✚ Larutan H_2SO_4
- ✚ Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4)
- ✚ Indikator feroin.
- ✚ Larutan standar Fero Amonium Sulfat 0,1 N.

6. Bahan kimia untuk analisis BOD₅

- ✚ Larutan Buffer Fosfat.
- ✚ Larutan Magnesium Sulfat (MgSO_4).
- ✚ Larutan Kalium Klorida (KCl).
- ✚ Larutan Feri Klorida (FeCl_3).

- ✦ Benih atau *inoculum*, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 ml air.
- ✦ Larutan Mangan Sulfat ($MnSO_4$).
- ✦ Larutan Pereaksi Oksigen.
- ✦ Indikator Amilum
- ✦ Larutan Standart Natrium Tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,0125N.

7. Analisis TSS menggunakan kertas saring.

8. Koagulan untuk koagulasi-flokulasi:

- PAC (Poly Aluminium Chloride): $Al_{10}(OH)_{15}(Cl)_{15}$
- Aluminium Sulfat atau tawas: $Al_2(SO_4)_3$

3.4.4. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kemampuan optimum tanaman terhadap konsentrasi limbah. Prosedur penelitian pendahuluan adalah sebagai berikut:

1. Reaktor disusun sedemikian rupa dan untuk reaktor yang menggunakan aerasi, maka aerasi dipasang di bagian permukaan agar tidak menghalangi akar tanaman. Limbah dialirkan ke dalam reaktor sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan yaitu 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2% ; 2,5%.
2. Volume air limbah disesuaikan dengan konsentrasi limbah dan volume reaktor yang ada. Nantinya air limbah diencerkan dengan menggunakan air kolam yang diperoleh dari *bozem*/danau yang berada di depan jurusan Biologi ITS Surabaya. Tujuan pemilihan air tsb adalah untuk menyesuaikan dengan habitat tanaman yang terbiasa hidup di tepian kolam/sungai. Volume total masing-masing reaktor sebesar 20 liter.

Sebelum diaplikasikan pada penelitian utama, sebelumnya dilakukan aklimatisasi tanaman Kana yang akan digunakan. Tujuan proses aklimatisasi adalah agar tanaman dapat

menyesuaikan diri dengan media tanamnya yang baru. Pengkondisian dilakukan selama 21 hari dengan asumsi bahwa dalam waktu tersebut tanaman telah dianggap mampu beradaptasi dengan media baru. Aklimatisasi dilakukan dengan menanam tanaman Kana pada 10 reaktor dengan 5 konsentrasi yang berbeda dan dilakukan dengan replikasi. Pada 7 hari terakhir dilakukan *Range Finding Test (RFT)* untuk penentuan konsentrasi maksimum yang dapat ditolerir oleh tanaman uji. Setelah 7 hari terakhir dipilih 1 konsentrasi limbah dengan tanaman yang masih segar untuk kemudian dilakukan penelitian selanjutnya.

3.4.5. Pelaksanaan penelitian

Skema pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.

3.4.5.1. Sistem Bioreaktor

Penelitian ini dilakukan dengan sistem *batch*, dimana penelitian dilakukan pada reaktor tanpa pemberian input maupun output selama proses penelitian berlangsung. Variasi yang diteliti berupa:

a. Konsentrasi limbah

Pada penelitian ini digunakan limbah pencelupan benang yang telah diaklimatisasi sebelumnya. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi limbah pencelupan benang terhadap kemampuan Kana dalam menurunkan kandungan organik pada jangka waktu tertentu.

b. Aerasi pada media

Pada penelitian ini digunakan dua jenis media, yaitu media dengan penambahan aerator dan media tanpa aerator. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengetahui pengaruh aerasi atau penambahan oksigen pada penyisihan kandungan polutan organik (BOD_5 , COD dan TSS) dari limbah pencelupan benang.

Penelitian ini meliputi analisis parameter yang diukur, di antaranya :

a) Analisis pH

pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan. Analisis dilakukan dengan mengambil sampel menggunakan pipet volumetrik sesuai dengan kebutuhan, lalu dianalisis dengan menggunakan alat pH meter (Alaerts dan Santika, 1987).

b). COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pada penelitian ini pengukuran COD ditentukan dengan metode titrasi dengan larutan fero amonium sulfat (Alaerts dan Santika, 1987).

c). BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Waktu yang dibutuhkan untuk pengukuran BOD yaitu 5 hari (BOD_5) pada suhu $20^{\circ}C$ (Alaerts dan Santika, 1987).

d) Analisis TSS

Pada penelitian ini, pengukuran Kandungan TSS dalam air limbah dapat diketahui dengan analisis gravimetri. Kandungan TSS dalam air limbah sangat bervariasi (Alaerts dan Santika, 1987).

3.4.5.2. Koagulasi – flokulasi

Penelitian tambahan ini dilakukan dikarenakan hasil efisiensi penyisihan menggunakan bioreaktor Kana belum mencapai hasil maksimum sehingga perlu adanya pengolahan pendahuluan sebelum limbah masuk ke dalam sistem. Alternatif yang dilakukan dengan penambahan koagulan pada limbah pekat sehingga bisa mengurangi kandungan polutan organik dalam limbah.

Proses koagulasi flokulasi dilakukan dengan menambahkan koagulan:

- PAC (*Poly Aluminium Chloride*), dengan dosis 20 mg/L; 40 mg/L; 60 mg/L; 80 mg/L; 100 mg/L; 120 mg/L.

- Aluminium Sulfat atau alum, dengan dosis 100 mg/L;150 mg/L;200 mg/L;250 mg/L;300 mg/L;350 mg/L.

Proses koagulasi flokulasi dilakukan untuk mengetahui dosis optimum pembubuhan koagulan yang efektif digunakan untuk penyisihan COD dan TSS pada limbah industri pencelupan benang yang digunakan. Prosedur analisis COD sama dengan penelitian utama diatas.

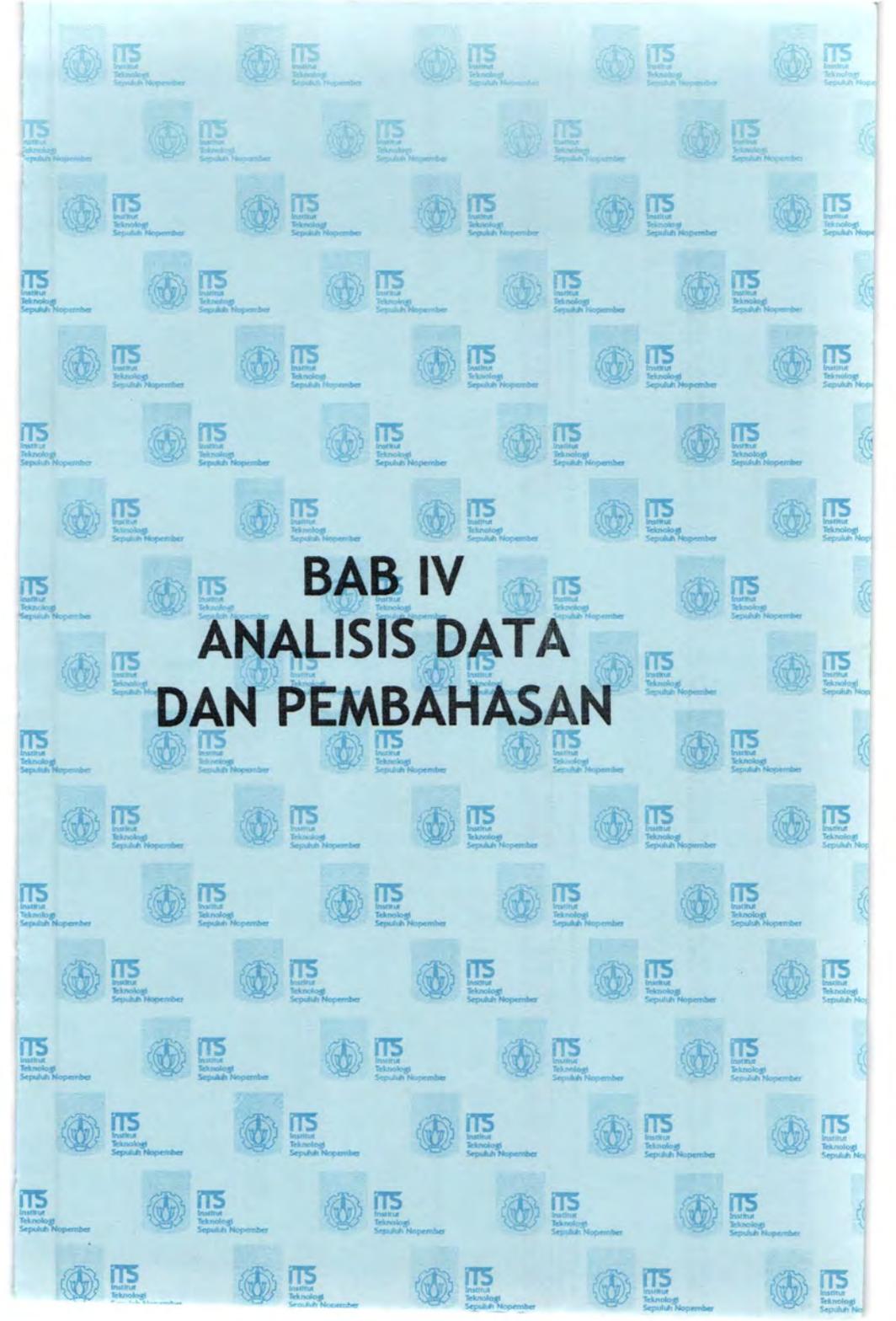
3.4.6. Analisis data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis parameter yang meliputi data dan penurunan konsentrasi BOD₅, COD, TSS, pH serta parameter lain yang mempengaruhi.

Pada pembahasan juga dibahas besar efisiensi COD dan TSS pada limbah setelah penambahan koagulan dan dosis optimum penambahan koagulan yang efektif.

3.4.7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan Saran diberikan berdasarkan hasil akhir yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan.



BAB IV

ANALISIS DATA

DAN PEMBAHASAN

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

4.1.1. Karakteristik Limbah

Limbah pencelupan benang yang dipergunakan pada penelitian ini berasal dari *home industry* pencelupan benang di daerah Jenggolo, Sidoarjo. Limbah ini diambil dari kolam penampungan limbah yang terletak di area industri. Untuk mengetahui karakteristik dari limbah tersebut akan dilakukan penelitian pendahuluan. Hasil analisis laboratorium menunjukkan karakteristik awal limbah yang akan dipergunakan pada penelitian ini. Untuk karakteristik dari limbah dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Pencelupan Benang

No	Karakteristik	Limbah Industri Pencelupan Benang	Baku Mutu*
1	Bentuk	Larutan	-
2	Warna	Hitam pekat	-
3	pH	11,58	6-9
4	Temperatur	30,5 ⁰ C	40 ⁰ C
5	COD	26800 mg/L	100 mg/L
6	BOD ₅	10720 mg/L	50 mg/L
7	TSS	24216 mg/l	50 mg/l

*Keputusan Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Lainnya di Jawa Timur



Gambar 4.1. Hasil Pengamatan Lapangan Limbah Pencelupan Benang

Berdasarkan analisis karakteristik awal tersebut maka efluen limbah masih belum memenuhi standar baku mutu lingkungan. Hal ini berarti efluen limbah dari *home industry* pencelupan benang tidak boleh dibuang secara langsung ke sungai sebagai badan air penerima yang akan menimbulkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan.

4.1.2. Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan proses pengadaptasian tanaman uji sebelum diaplikasikan pada sistem bioreaktor. Aklimatisasi ini bertujuan agar tanaman uji, dalam penelitian ini digunakan tanaman Kana (*Canna sp.*) dapat beradaptasi atau menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang baru yaitu limbah industri pencelupan benang yang nantinya akan menjadi media hidupnya. Pada tahap aklimatisasi ini dilaksanakan selama 21 hari dengan perkiraan selama rentang waktu tersebut tanaman sudah mampu beradaptasi dengan kondisi yang ada. Aklimatisasi ini dilakukan dengan 3 tahap dimana tiap tahapan masa aklimatisasi dilakukan selama 7 hari.

a. Aklimatisasi Tahap I

Pada aklimatisasi tahap I tanaman dalam *polybag* diletakkan dalam ruang kaca dan disiram dengan air PDAM pada sore hari. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan tanaman uji dengan kondisi lingkungan dan kelembaban pada ruang kaca disebabkan nantinya reaktor akan selalu berada di dalam ruang kaca.

b. Aklimatisasi Tahap II

Pada aklimatisasi tahap II tanaman dipindahkan dari *polybag* ke dalam reaktor penelitian dan disiram dengan air PDAM pada sore hari. Hal ini bertujuan untuk mengkondisikan tanaman uji yang akan dipergunakan dalam reaktor sebagai tempat hidup dan media tumbuhnya yang baru.

c. Aklimatisasi Tahap III

Pada aklimatisasi tahap III tanaman uji dalam reaktor penelitian diisi dengan air limbah untuk sekaligus menjadi proses penentuan konsentrasi optimum melalui *Range Finding Test (RFT)* pada pagi dan sore hari. Hal ini bertujuan untuk mengkondisikan tanaman uji dengan air limbah yang akan dipergunakan dan untuk menyesuaikan kondisi kelembaban pada reaktor penelitian. Serta mengetahui konsentrasi optimum tanaman Kana yang mampu hidup dalam limbah tersebut.



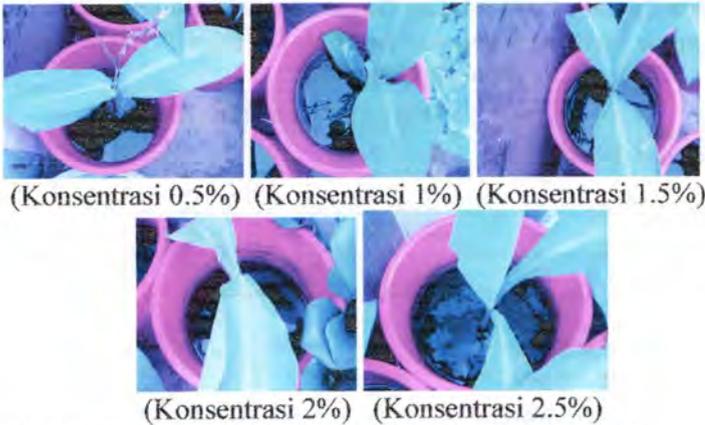
(a)

(b)

**Gambar 4.2. Aklimatisasi Tanaman Kana
(a) Pada *Polybag* dan (b) Pada Reaktor**

4.1.3. Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Industri Pencelupan Benang melalui *Range Finding Test (RFT)*

Range Finding Test (RFT) dilakukan dengan tujuan untuk menentukan konsentrasi optimum limbah industri pencelupan benang yang masih dapat diterima oleh tanaman uji, yaitu Kana. Variasi konsentrasi limbah yang digunakan dalam RFT adalah 0,5%; 1%; 1,5%; 2% dan 2,5%. Tanaman Kana yang dipilih yang berumur 8–10 minggu dengan alasan bahwa tanaman muda tumbuh menjadi tanaman dewasa ditandai dengan tumbuhnya helaian daun berukuran normal maksimal, yakni pada umur 8-10 minggu (Rukmana, 1997). Berat Kana untuk masing-masing reaktor berada pada kisaran 0,2–0,3 kg, panjang akar masing-masing reaktor berkisar antara 21–30 cm dan tinggi tanaman berada pada kisaran 85–92 cm. Tanaman Kana berada dalam volume media air sebesar 20 liter. Media tumbuh yang digunakan adalah pasir dan kerikil dengan ketinggian total 30 cm. Pelaksanaan RFT dilakukan di ruang kaca Jurusan teknik Lingkungan ITS dengan pencahayaan murni dari sinar matahari. Penelitian pendahuluan untuk RFT dilakukan selama ± 7 hari. Media air yang digunakan dalam penelitian adalah campuran antara sampel air limbah industri pencelupan benang dengan air pengencer yang berasal dari *bozem*/waduk yang terletak di depan kampus Biologi-ITS. Penelitian ini dilakukan dengan replikasi masing-masing konsentrasi limbah yang digunakan. Gambar 4.3 berikut merupakan hasil pengamatan pelaksanaan RFT.



Gambar 4.3. Hasil Pengamatan RFT Tanaman Uji

RFT hanya dilakukan dengan pengamatan secara langsung terhadap morfologi tanaman Kana tanpa dilakukan analisis parameter uji pada media air. Penelitian ini dilakukan selama 7 hari dengan perlakuan yang sama untuk masing-masing reaktor. Dari pengamatan daya tahan Kana terhadap media air limbah industri pencelupan benang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Pengamatan Daya Tahan Tanaman Kana Terhadap Media Tanam Air Limbah Industri Pencelupan Benang

Reaktor	Konsentrasi Limbah (%)	Waktu Pengamatan (Hari ke-)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0,5	S	S	S	S	S	S	S
2	0,5	S	S	S	S	S	S	S
3	1	S	S	S	S	S	S	S
4	1	S	S	S	S	S	S	S
5	1,5	S	S	S	S	S	S	S
6	1,5	S	S	S	S	S	S	S
7	2	S	S	S	S	S	S	S

Tabel 4.2. Data Pengamatan Daya Tahan Tanaman Kana Terhadap Media Tanam Air Limbah Industri Pencelupan Benang (Lanjutan)

Reaktor	Konsentrasi Limbah (%)	Waktu Pengamatan (Hari ke-)						
		1	2	3	4	5	6	7
8	2	S	S	S	S	S	S	L
9	2,5	S	S	S	S	L	L	L
10	2,5	S	S	S	S	S	L	L

Keterangan: S = Segar.
L = Layu.
M = Mati.

Dari hasil pengamatan secara morfologi, terlihat bahwa pada konsentrasi 0,5–1,5 % tanaman masih dalam kondisi segar. Pada konsentrasi 2%, tanaman uji I masih segar tetapi untuk tanaman uji II mengalami kelayuan pada hari ke-7. Sedangkan untuk konsentrasi 2,5% kedua tanaman layu pada akhir hari ke-7. Hasil penelitian pendahuluan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi maksimum limbah industri pencelupan benang yang masih dapat ditoleransi oleh Kana yaitu pada konsentrasi limbah sebesar 1,5%. Dengan demikian dapat ditentukan konsentrasi limbah yang digunakan selama pelaksanaan penelitian yaitu konsentrasi limbah sebesar 1,5%.

Dengan konsentrasi 1,5%, maka pengenceran limbah yang harus dilakukan sebanyak 67 kali. Dengan konsentrasi tersebut, maka karakteristik limbah secara otomatis berubah. Oleh karena itu dilakukan penelitian sampel limbah setelah pengenceran dengan data karakteristik seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Karakteristik Limbah Pencelupan Benang Setelah Pengenceran

No	Karakteristik	Limbah Industri Pencelupan Benang	Baku Mutu*
1	Bentuk	Larutan	-
2	Warna	Hitam pekat	-
3	pH	9,5	6-9
4	Temperatur	30,5 ⁰ C	40 ⁰ C
5	COD	400 mg/L	100 mg/L
6	BOD ₅	160 mg/L	50 mg/L
7	TSS	464 mg/l	50 mg/l

*Keputusan Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Lainnya di Jawa Timur

4.2. Penurunan Kandungan BOD₅

Fungsi rawa buatan dalam proses penghilangan bahan pencemar dari air limbah dengan melihat dari aspek fisik, kimiawi dan biologis, dijelaskan sebagai berikut (Wildenman dan Laudon dalam Khatuddin, 2003) :

- ↓ Penyaringan bahan tersuspensi dan koloida yang terdapat dalam air
- ↓ Asimilasi bahan pencemar ke dalam jaringan akar dan daun tumbuhan hidup
- ↓ Pengikatan atau pertukaran bahan pencemar dengan tanah rawa, bahan tanaman hidup, bahan tanaman mati dan bahan alga hidup
- ↓ Presipitasi (pembentukan partikel) dan netralisasi dari penguraian bahan biologis karena kegiatan bakteri

Proses penurunan BOD₅ pada *constructed wetland* ini mengalami proses fisik dan biologis (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Penyisihan fisik dari BOD₅ terjadi melalui proses pengendapan dan penangkapan material partikulat di ruang hampa pada gravel atau media batuan. BOD₅ terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada

permukaan media dan menempel pada akar tanaman dan penetrasi rhizoma pada bed. Organisme memegang peranan sangat penting dalam penghilangan bahan organik yang proses penguraiannya membutuhkan oksigen (BOD_5). Organisme mikro aerob dapat hidup dalam air dan tanah rawa yang berkondisi anaerob dengan aliran oksigen yang dilepaskan oleh akar tanaman air dalam zona rhizospere (Khatuddin, 2003). Pengolahan secara aerob berlangsung di dalam zona akar dan pada bagian atas dari sedimen.

Tanaman Kana dapat berfungsi untuk penguraian bahan-bahan organik termasuk BOD_5 dan penguraian bakteri yang merugikan (Rosmiyana, 1997). Pertumbuhan tanaman optimum tanaman Kana terjadi pada tanah yang subur, aerasi dan drainasenya baik atau tidak mudah menggenang, banyak mengandung bahan organik serta tersedia cukup banyak unsur hara (Rukmana, 1997). Zona aerob terjadi di sekitar akar dan rhizoma yang mengurangi oksigen menjadi substrat. Oksigen mengalir ke akar melalui batang setelah berdifusi dari atmosfer melalui pori-pori daun. Pelepasan oksigen oleh akar tanaman menyebabkan air/tanah di sekitar rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang tinggi sehingga memungkinkan organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan yang berkondisi anaerob (Khatuddin, 2003). BOD_5 terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada permukaan media dan menempel pada akar tanaman.

4.2.1. Penurunan BOD pada Reaktor Uji dengan Penambahan Aerasi

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat besarnya penurunan kandungan BOD_5 pada reaktor uji dengan menggunakan penambahan aerasi.

Tabel 4.4. Tabel Efisiensi Penyisihan BOD Pada Reaktor dengan Penambahan Aerasi

Hari Ke-	KA		KA Media		Tumb.A1		Tumb.A2		Rata-rata TA
	BOD	Efisiensi (%)	BOD	Efisiensi (%)	BOD	Efisiensi (%)	BOD	Efisiensi (%)	
0	160	0	160	0	160	0	160	0	0
3	149,45	6,59	108,60	32,13	49,00	69,38	53,90	66,31	67,84
6	132,3	17,31	106,15	33,66	44,10	72,44	58,80	63,25	67,84
9	100,45	37,22	103,70	35,19	36,75	77,03	51,45	67,84	72,44
12	120,05	24,97	120,85	24,47	31,85	80,09	49,00	69,38	74,73
15	117,6	26,50	108,60	32,13	34,30	78,56	46,55	70,91	74,73
18	122,5	23,44	98,80	38,25	29,40	81,63	39,20	75,50	78,56
21	115,15	28,03	86,55	45,91	29,40	81,63	51,45	67,84	74,73
24	124,95	21,91	74,30	53,56	34,30	78,56	26,95	83,16	80,86
27	120,05	24,97	66,95	58,16	29,40	81,63	22,05	86,22	83,92
30	122,5	23,44	64,50	59,69	24,50	84,69	19,60	87,75	86,22

Keterangan :

- KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, dengan aerasi.
- KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, dengan aerasi
- TA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, dengan aerasi.
- TA 2 : Reaktor uji limbah kedua dengan tanaman, dengan aerasi.

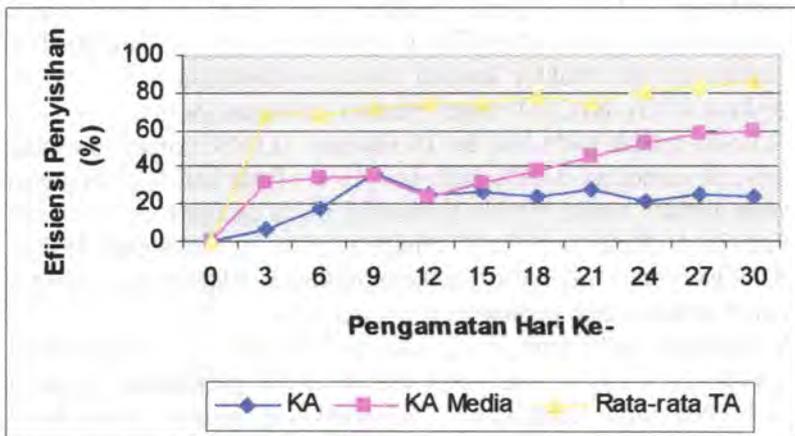
Dari Tabel 4.4 tersebut akan dibandingkan reaktor kontrol dan reaktor uji dengan penambahan aerasi selama pengoperasian reaktor (± 1 bulan), sehingga diperoleh data penurunan yang bervariasi sesuai dengan hari pengamatan. Pada reaktor KA (Kontrol aerasi tanpa media), nilai BOD_5 untuk hari ke-3 mengalami penurunan sangat kecil, yaitu 6,59%. Pada hari ke-6 dan 9 juga terjadi penurunan BOD_5 17,31% dan 37,22%. Sedangkan pada hari ke-12 terjadi penurunan efisiensi sekitar 24,97%. Pada hari ke-15 sampai 30 efisiensi mulai stabil, yaitu sekitar 21-26%. Efisiensi penyisihan terbesar hanya mencapai 37,22% pada hari ke-9. Hal tersebut dikarenakan pada reaktor kontrol tidak terdapat tanaman dan media yang membantu dalam proses penguraian bahan organik dalam limbah. Mikroorganisme dapat tumbuh pada reaktor tetapi tidak sebanyak pada reaktor yang memiliki media dan tanaman sehingga tidak ada transfer oksigen antara tanaman dan mikroorganisme pada rhizosfer. Mikroorganisme dapat tumbuh dari air pengencer yang tercampur dengan limbah.

Pada reaktor KA Media, efisiensi penyisihan lebih besar dibanding dengan kontrol aerasi tanpa media. Pada hari ke-3 efisiensi penyisihan mencapai 32,13%. Pada hari ke-6 dan 9 efisiensi mencapai 33,66% dan 35,19%. Namun terjadi penurunan efisiensi pada hari ke-12 yaitu menjadi 24,47%. Pada hari ke-15 efisiensi naik menjadi 32,13%. Pada hari ke-18 sampai 30 efisiensi meningkat dan stabil pada kisaran 38-60%. Efisiensi penyisihan terbesar yaitu 59,69% terjadi pada hari ke-30. Efisiensi ini jauh lebih besar dari kontrol aerasi tanpa media. Hal ini dikarenakan adanya media berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme walaupun lebih banyak pada reaktor dengan tanaman uji. Media berperan juga sebagai filter dalam reaktor. Partikel-partikel media tanam dapat menahan kandungan bahan pencemar organik dalam air limbah untuk proses filtrasi.

Pada reaktor uji yang dilakukan dengan replikasi menggunakan tanaman dan aerasi, efisiensi penyisihan BOD_5 yang terjadi lebih besar dibanding kedua reaktor kontrol. Rata-rata efisiensi

penyisihan pada hari ke-3 dan 6 sudah mencapai 67,84%. Selanjutnya pada hari ke-9 sampai 30. Efisiensi relatif stabil, yaitu berkisar antara 72–86%. Efisiensi penyisihan BOD₅ rata – rata tanaman uji terbesar terjadi di akhir penelitian yaitu hari ke-30, sebesar 86,22%. Hal ini dikarenakan tanaman uji berfungsi pada reaktor berfungsi dalam pembersihan air, yaitu mendukung kehidupan mikroorganisme mikro pengurai limbah misal bakteri, jamur, alga, protozoa (Khatuddin, 2003). Tanaman pada sistem *wetland* sangat berperan dalam translokasi oksigen ke dalam media. Oleh sebab itu, penurunan kandungan organik termasuk BOD₅ lebih tinggi pada reaktor uji dibandingkan dengan reaktor kontrol. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya tanaman yang membantu mengoptimalkan kondisi aerobik melalui proses translokasi oksigen mempertahankan porositas media (Metcalf dan Eddy, 1991).

Dari hasil Tabel 4.4, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.4 untuk prosentase penurunan BOD₅ pada reaktor uji dengan penambahan aerasi.



Gambar 4.4. Grafik Efisiensi Penyisihan BOD Pada Media Dengan Penambahan Aerasi

Dari Gambar 4.4 tampak bahwa penyisihan rata-rata TA memiliki efisiensi penyisihan yang paling tinggi diantara kedua reaktor kontrol aerasi. Hal ini dikarenakan pada reaktor uji ini, tanaman berfungsi secara tidak langsung mendukung kehidupan mikroorganisme pengurai limbah. Banyaknya mikroorganisme yang hidup dalam r akan meningkatkan kinerja pembersihan air secara menyeluruh, mengingat mikroorganisme tersebut mencerna bahan pencemar untuk memperoleh energi. Mikroorganisme yang menempel pada akar makrofita dan struktur jaringan atau organisme hidup dalam air membentuk mekanisme fisiologi dengan menyisihkan polutan dari air limbah (Wood, 1990). Fungsi lain dari makrofita adalah dapat mentransfer oksigen ke permukaan akar sehingga dapat meningkatkan penguraian material organik secara aerobik.

4.2.2. Analisis Penurunan BOD pada Reaktor Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat besarnya penurunan kandungan BOD₅ pada reaktor uji yang menggunakan penambahan aerasi. Dari Tabel 4.5 di atas dapat dibandingkan reaktor uji dan reaktor kontrol tanpa penambahan aerasi. Pada reaktor KNA (kontrol tanpa media), efisiensi penyisihan yang terbesar terjadi pada hari ke-18 sebesar 31,09% sedangkan yang terkecil mencapai 5,06% pada hari ke-6. Pada hari ke-3 efisiensi yang terjadi hanya 9,66% kemudian turun menjadi 5,06% pada hari ke-6. Pada hari ke-9 efisiensi naik lagi menjadi 26,5%. Kondisi yang fluktuatif ini kemungkinan dikarenakan reaktor masih dalam tahap persiapan pengoperasian. Sedangkan pada hari ke-12 sampai 30 efisiensi sudah stabil sekitar 20 - 29 %, walaupun masih terjadi penurunan efisiensi pada beberapa pengukuran. Efisiensi ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan reaktor kontrol tanpa media dengan penambahan aerasi. Hal ini dikarenakan aerasi berpengaruh pada penambahan kandungan oksigen pada reaktor, sehingga bakteri aerob bisa tumbuh pesat dalam reaktor tersebut.

Tabel 4.5. Tabel Efisiensi Penyisihan BOD pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Hari Ke-	KNA		KNA Media		Tumb.NA 1		Tumb.NA 2		Rata2 TNA
	BOD	EFFISIENSI	BOD	EFFISIENSI	BOD	EFFISIENSI	BOD	EFFISIENSI	
	KANA	(%)	KANA	(%)	KANA	(%)	KANA	(%)	
0	160,00	0,00	160,00	0,00	160,00	0,00	160,00	0,00	0,00
3	144,55	9,66	73,50	54,06	66,15	58,66	58,80	63,25	60,95
6	151,90	5,06	68,60	57,13	68,60	57,13	56,35	64,78	60,95
9	117,60	26,50	71,05	55,59	51,45	67,84	51,45	67,84	67,84
12	122,50	23,44	61,25	61,72	46,55	70,91	53,90	66,31	68,61
15	127,40	20,38	56,35	64,78	49,00	69,38	61,25	61,72	65,55
18	110,25	31,09	53,90	66,31	44,10	72,44	46,55	70,91	71,67
21	115,15	28,03	51,45	67,84	41,65	73,97	56,35	64,78	69,38
24	127,40	20,38	58,80	63,25	39,20	75,50	44,10	72,44	73,97
27	120,05	24,97	39,20	75,50	40,05	74,97	38,20	76,13	75,55
30	112,70	29,56	36,75	77,03	26,95	83,16	39,20	75,50	79,33

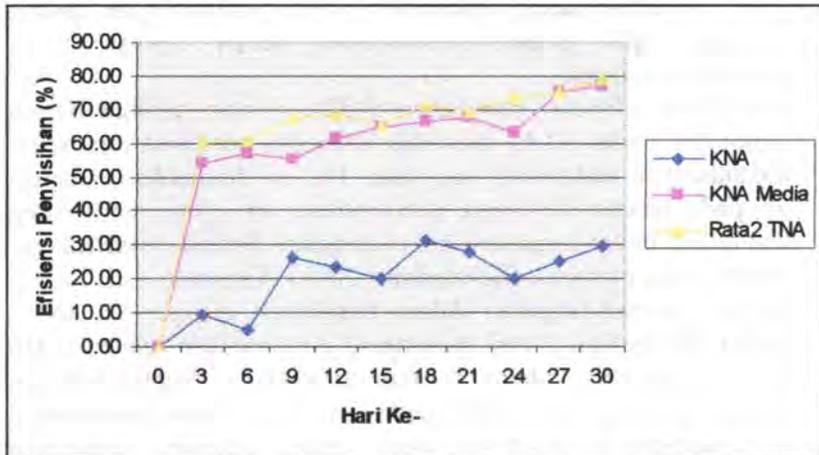
Keterangan :

- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
 KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
 TNA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, tanpa aerasi.
 TNA 2 : Reaktor uji limbah kedua dengan tanaman, tanpa aerasi.

Dengan adanya bakteri aerob akan mempercepat penguraian bahan organik dalam reaktor tersebut. Tidak adanya media juga berpengaruh pada besarnya nilai BOD₅ yang bisa tersisihkan. Media menyediakan area permukaan yang stabil untuk tempat berkembang biak mikrobial dan fungsi langsung sebagai filter dalam menjernihkan atau mengolah air limbah dengan proses kimia dan fisik.

Pada reaktor kontrol non aerasi yang menggunakan media, efisiensi penyisihan yang terbesar adalah 77,03% yang dicapai pada hari ke-30. Pada hari ke-3 efisiensi penyisihan mencapai 54,06% dan 57,13% pada hari ke-6. Pada hari ke-9 sampai 21 terjadi peningkatan efisiensi hingga mencapai 67,84%. Efisiensi terbesar mencapai 77,03%. Efisiensi penyisihan BOD₅ pada reaktor KNA Media ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan KA Media, tetapi perbedaannya tidak signifikan. Sedangkan pada reaktor tumbuhan tanpa aerasi, rata-rata efisiensi penyisihan yang terbesar terjadi pada hari ke-30 sebesar 79,33%. Pada hari ke-3 dan 6, rata-rata penyisihan mencapai 60,95%. Pada hari ke-9 efisiensi penyisihannya sama antara reaktor uji 1 dan 2 yaitu 67,84%. Sedangkan pada hari ke-12 sampai 30, efisiensi kedua reaktor uji sudah mulai stabil yaitu pada kisaran 60-80%. Efisiensi ini lebih kecil dibandingkan dengan reaktor uji yang menggunakan aerasi. Hal ini disebabkan aerasi berpengaruh pada keseimbangan pertumbuhan mikroorganisme, khususnya mikroorganisme aerob. Selain itu, pelepasan oksigen oleh akar tanaman menyebabkan air/tanah di sekitar rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang tinggi sehingga memungkinkan organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan yang berkondisi anaerob (Khatuddin, 2003). Aerasi tanah (kandungan O₂ dan CO₂ dalam tanah) sangat mempengaruhi sistem perakaran suatu tanaman (Islami dan Utomo, 1995). Hal itu menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.

Dari hasil Tabel 4.5, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.5 untuk prosentase penurunan BOD₅ pada reaktor uji Tanpa Penambahan aerasi.



Gambar 4.5. Grafik Efisiensi Penyisihan BOD₅ Pada Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi

Dari Gambar grafik di atas tampak bahwa rata-rata TNA memiliki efisiensi penyisihan yang paling tinggi diantara ketiga reaktor uji aerasi yang lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor uji ini, tanaman yang tumbuh pada reaktor uji membutuhkan unsur hara yang terkandung dalam air. Jika yang tertahan adalah air yang mengandung bahan pencemar tetapi bermanfaat bagi tanaman, bahan tersebut akan diserap dengan bantuan mikroorganisme yang tumbuh di perakaran yang membantu dalam proses penguraiannya. Sedangkan reaktor kontrol tanpa adanya tanaman sehingga tidak ada yang menyerap bahan organik dalam limbah, sehingga nilai BOD₅ masih tinggi.

4.2.3. Perbandingan Efisiensi Penyisihan Antara Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Berikut akan ditampilkan tabel perbandingan antara efisiensi BOD antara penambahan aerasi dengan tanpa penambahan aerasi.

Dari Tabel efisiensi penyisihan BOD₅ di atas, terlihat bahwa tumbuhan aerasi (TA) memiliki efisiensi penyisihan tertinggi dibandingkan reaktor uji yang lain. Hal ini disebabkan tanaman uji pada reaktor berfungsi pembersihan air, yaitu mendukung kehidupan mikroorganisme mikro pengurai limbah misal bakteri, jamur, alga, protozoa (Khatuddin, 2003). Tanaman pada sistem *wetland* sangat berperan dalam translokasi oksigen ke dalam media. Sedangkan aerasi menunjang pertumbuhan tanaman dan kondisi mikrobial dalam sistem bioreaktor. Suplai oksigen melalui aerasi akan mempengaruhi sistem perakaran tanaman dan juga kehidupan mikroorganisme dalam reaktor. Sedangkan kontrol non aerasi tanpa media dan kontrol aerasi cenderung memiliki efisiensi penyisihan yang terendah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor kontrol tidak terdapat tanaman dan media yang membantu penguraian dan penyerapan kandungan organik dalam limbah.

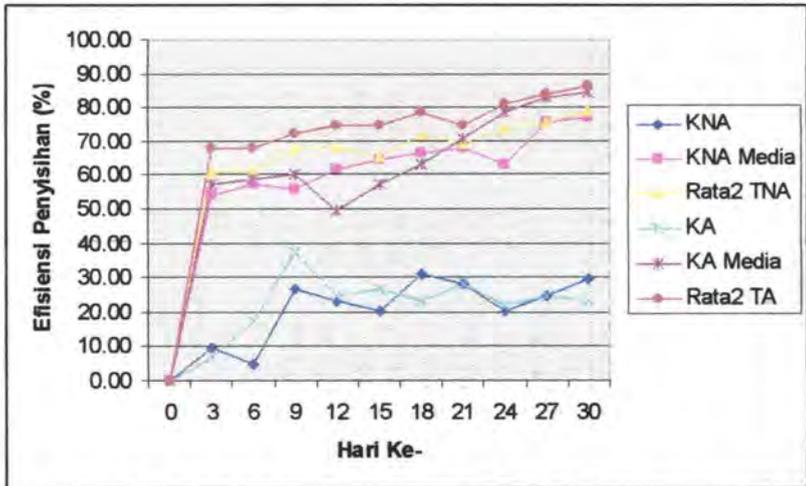
Tabel 4.6. Efisiensi Penyisihan BOD₅ oleh Reaktor Dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Hari Ke-	Tanpa Aerasi					Dengan Aerasi				
	KNA		KNA Media		Rata2 TNA	KA		KA Media		Rata2 TA
	BOD	Efisiensi	BOD	Efisiensi		BOD	Efisiensi	BOD	Efisiensi	
	KANA	(%)	KANA	(%)	KANA	(%)	KANA	(%)		
0	160,00	0,00	160,00	0,00	0,00	160	0	160	0	0,00
3	144,55	9,66	73,50	54,06	60,95	149,45	6,59	68,60	57,13	67,84
6	151,90	5,06	68,60	57,13	60,95	132,3	17,31	66,15	58,66	67,84
9	117,60	26,50	71,05	55,59	67,84	100,45	37,22	63,70	60,19	72,44
12	122,50	23,44	61,25	61,72	68,61	120,05	24,97	80,85	49,47	74,73
15	127,40	20,38	56,35	64,78	65,55	117,6	26,50	68,60	57,13	74,73
18	110,25	31,09	53,90	66,31	71,67	122,5	23,44	58,80	63,25	78,56
21	115,15	28,03	51,45	67,84	69,38	115,15	28,03	46,55	70,91	74,73
24	127,40	20,38	58,80	63,25	73,97	124,95	21,91	34,30	78,56	80,86
27	120,05	24,97	39,20	75,50	75,55	120,05	24,97	26,95	83,16	83,92
30	112,70	29,56	36,75	77,03	79,33	122,5	23,44	24,50	84,69	86,22

Keterangan :

- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
- KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
- Rata-rata TNA : Rata-rata tanaman uji tanpa aerasi
- KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, aerasi.
- KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, aerasi
- Rata-rata TA : Rata-rata tanaman uji dengan aerasi

Berikut akan digambarkan pada Gambar 4.6. Grafik efisiensi penyisihan BOD₅ oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor tanpa penambahan aerasi.



Gambar 4.6. Grafik Efisiensi Penyisihan BOD₅ Optimum oleh Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

4.3. Penurunan Kandungan Organik (COD)

Nilai COD berasal dari bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah *home industry* pencelupan benang, zat-zat hasil metabolisme tanaman uji yaitu Kana, air pengencer serta mikroorganisme yang terdapat dalam reaktor. Mikroorganisme terdiri dari mikroorganisme yang menempel pada akar tanaman Kana serta mikroorganisme yang berada pada dinding bak yang digunakan. Hal ini dibuktikan dengan keadaan pada sekeliling dinding dan dasar bak yang terasa licin akibat adanya lapisan biofilm dari mikroorganisme. COD yang berhubungan dengan zat padat yang terendapkan (*Settleable Solids*) di dalam air buangan dihilangkan oleh proses sedimentasi. COD terlarut dan dalam bentuk koloid yang masih tersisa dalam larutan dapat dihilangkan

sebagai hasil dari proses aktifitas metabolis dari mikroorganisme dan interaksi kimia fisik di dalam zona perakaran (Wood, 1990). Proses penurunan kandungan COD pada sistem rawa buatan akan semakin baik bila digunakan media dengan ukuran partikel yang lebih kecil (Schulz dalam Rizka, 2005). Tingkat kemampuan biodegradasi dari berbagai macam substansi organik tergantung dari kemampuan biodegradasi relatif dari material, temperatur, konsentrasi oksigen, pH, pengadaan nutrien, konsentrasi substrat dan adanya senyawa toksik potensial. Sistem *Constructed Wetland* ini relatif toleran terhadap berbagai tingkat konsentrasi bahan pencemar yang masuk ke dalam sistem (Khatuddin, 2003).

Aktifitas mikroorganisme pada akar tanaman Kana sangat mempengaruhi penurunan kandungan polutan organik dalam limbah. Kegiatan mikroorganisme dalam reaktor dengan menggunakan tanaman air, dapat disamakan dengan yang terjadi pada sistem trickling filter dan sistem activated sludge. Namun jenis mikroorganisme dalam reaktor dengan tanaman air lebih banyak (Polprasert, 1989).

4.3.1. Analisis Penurunan COD pada Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi

Data serta grafik penurunan COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol baik yang menggunakan aerasi dan tanpa menggunakan aerasi dapat dilihat pada Tabel 4.6. Dari Tabel 4.6, dapat dilakukan analisis penyisihan COD setiap harinya pada masing-masing reaktor. Pada reaktor KA, hari ke-3 belum terjadi penyisihan mungkin dikarenakan reaktor masih dalam tahap persiapan sehingga belum tampak adanya efisiensi penyisihan COD. Pada hari ke-6 sudah tampak efisiensi penyisihan sebesar 10% dan 20% pada hari ke-9. Pada hari-hari berikutnya sampai pada hari ke-30, efisiensi penyisihan mulai stabil pada kisaran 20-40%. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke-24 yaitu sebesar 40%. Hal ini dikarenakan tidak adanya media dan tanaman pada reaktor tersebut. Penyisihan hanya mengandalkan kemampuan bakteri yang ada pada air pengencer dan limbah itu

sendiri dengan suplai oksigen dari proses aerasi, sehingga penyisihan yang terjadi tidak terlalu besar.

Pada reaktor KA Media, efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 75% yang terjadi pada hari terakhir penelitian. Tidak berbeda jauh dengan yang terjadi pada reaktor KA. Pada hari ke-3 sudah terjadi penyisihan dengan efisiensi 25%. Sedangkan pada hari ke-6 sampai hari ke-30 efisiensi penyisihan sudah relatif stabil yaitu sekitar 30-75%. Efisiensi penyisihan pada reaktor KA Media lebih besar dibandingkan dengan reaktor KA dikarenakan pada reaktor ini terdapat media yang mampu menurunkan kandungan COD melalui proses filtrasi oleh media pasir dan kerikil. Tetapi penyisihannya tidak terlalu signifikan dikarenakan yang paling berpengaruh dalam penyisihan COD adalah adanya tanaman dan mikroorganisme.

Tabel 4.6. Tabel Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor dengan Penambahan Aerasi

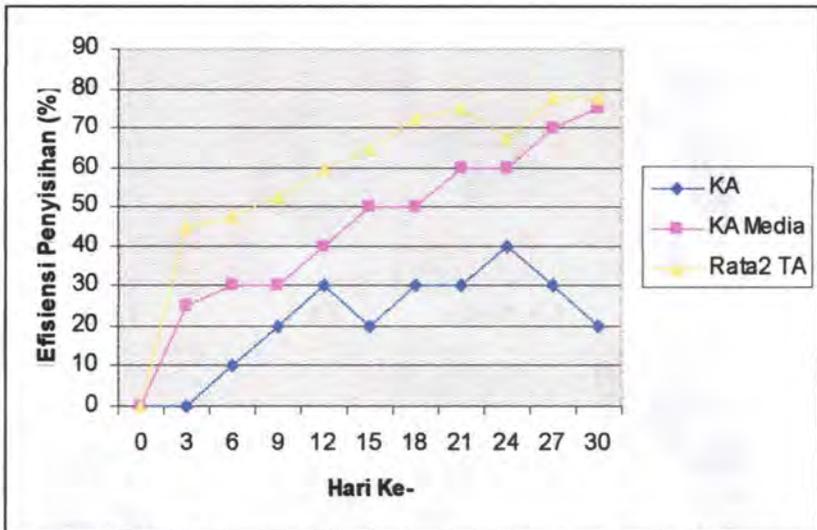
Hari ke-	KA		KA Media		TA 1		TA 2		TA rata-rata
	COD (mg/l)	Efisiensi (%)							
0	400	0	400	0	400	0	400	0	0
3	400	0	300	25	220	45	220	45	45
6	360	10	280	30	200	50	220	45	47,5
9	320	20	280	30	180	55	200	50	52,5
12	280	30	240	40	160	60	160	60	60
15	320	20	200	50	160	60	120	70	65
18	280	30	200	50	120	70	100	75	72,5
21	280	30	160	60	100	75	100	75	75
24	240	40	160	60	140	65	120	70	67,5
27	280	30	120	70	100	75	80	80	77,5
30	320	20	100	75	100	75	80	80	77,5

Keterangan :

- KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, dengan aerasi.
- KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, dengan aerasi
- TA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, dengan aerasi
- TA 2 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, dengan aerasi

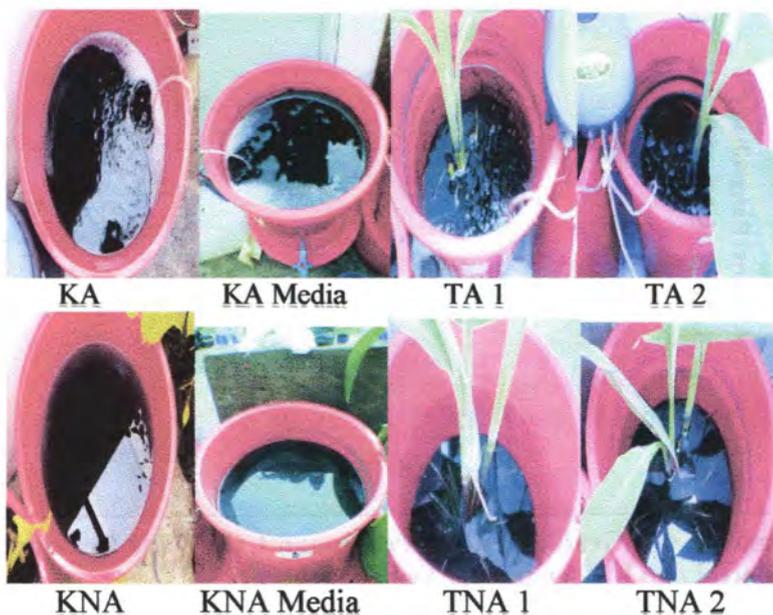
Semakin besar porositas media maka semakin banyak bahan organik terlarut yang lolos sehingga proses penguraian kurang optimal dan berpengaruh terhadap penguraian bahan organik (Wijayanti, 2004). Dengan diameter butiran media yang lebih kecil seperti pasir, akan menghasilkan luasan area yang lebih besar dan kecepatan filtrasi yang lebih lambat, sehingga partikel-partikel media pasir akan dapat menahan partikel-partikel padatan dalam air limbah untuk proses filtrasi.

Pada reaktor uji yang dilakukan dengan replikasi yaitu reaktor TA 1 dan TA 2, efisiensi rata-rata penyisihan terbesar mencapai 77,5% pada hari ke-30. Untuk reaktor TA 1 mencapai 75% dan 80% pada hari ke-30 untuk reaktor TA 2. Pada hari ke-3 efisiensi penyisihan yang terjadi sebesar 45% untuk rata-rata kedua reaktor. Pada TA 1, penyisihan terbesar terjadi pada hari ke-30 sebesar 75%. Sedangkan pada reaktor TA 2, penyisihan terbesar mulai hari ke-27 sebesar 80%. Efisiensi penyisihan untuk tanaman uji lebih besar dibanding kedua reaktor kontrol. Hal ini disebabkan adanya tanaman dalam pengolahan air limbah berperan sebagai persediaan tempat tumbuh bakteri, filtrasi partikel, translokasi oksigen ke dalam zona akar (Wood, 1990). Keadaan akar yang teraerasi dengan baik akan memungkinkan bakteri hidup dengan mudah di akar tanaman dan mampu menguraikan secara aerobik bahan pencemar dalam air limbah yang merembes di sela-sela akar. Senyawa organik pada limbah didegradasi secara aerob oleh bakteri yang menempel pada bagian bawah tanaman (akar dan rhizoma) dan permukaan media. Dari Tabel 4.6, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.7 untuk prosentase penurunan COD pada reaktor kontrol dan uji dengan penambahan aerasi.



Gambar 4.7. Grafik Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi

Dari Gambar 4.7 di atas tampak bahwa TA yang merupakan tanaman uji memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi diantara ketiga reaktor dengan aerasi yang lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor uji ini, terdapat unsur-unsur penting yang sangat diperlukan untuk penyisihan kandungan organik dalam limbah, yaitu tanaman yang berfungsi sebagai tempat hidup bakteri pada sekitar akarnya dan juga menyerap unsur hara hasil penguraian senyawa organik oleh bakteri. Selain itu, media tanam juga berfungsi sebagai filter padatan organik yang ada dalam limbah. Kondisi optimum pertumbuhan bakteri juga ditunjang oleh adanya proses aerasi dalam reaktor yang berfungsi menyuplai oksigen untuk kebutuhan hidup bakteri dalam reaktor.



Gambar 4.8. Kondisi Reaktor Setelah Hari ke-30

4.3.2. Analisis Penurunan COD pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Data hasil penurunan COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol tanpa menggunakan aerasi dapat dilihat pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7. Tabel Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Uji dan Kontrol Tanpa Penambahan Aerasi

Hari ke-	KNA		KNA Media		TNA 1		TNA 2		TNA rata-rata
	COD (mg/l)	Efisiensi (%)							
0	400	0	400	0	400	0	400	0	0
3	400	0.00	240	40	280	30	200	50	40
6	360	10.00	240	40	200	50	200	50	50
9	360	10.00	220	45	160	60	240	40	50
12	320	20.00	200	50	160	60	200	50	55
15	320	20.00	200	50	120	70	160	60	65
18	320	20.00	180	55	120	70	160	60	65
21	360	10.00	160	60	80	80	160	60	70
24	320	20.00	160	60	160	60	120	70	65
27	280	30.00	140	65	120	70	200	50	60
30	320	20.00	140	65	120	70	120	70	70

Keterangan :

- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
 KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
 TNA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, tanpa aerasi.
 TNA 2 : Reaktor uji limbah kedua dengan tanaman, tanpa aerasi

Dari Tabel 4.7. dapat dilakukan analisis penyisihan yang terjadi setiap harinya untuk setiap reaktor kontrol dan uji yang tidak menggunakan penambahan aerasi. Pada reaktor KNA, baru terjadi penyisihan pada hari ke-6 sebesar 10%. Pada hari ke-9 efisiensi penyisihan masih sama dengan hari ke-3 yaitu sebesar 10%. Sedangkan pada hari ke-12 sampai hari ke-24, efisiensi penyisihan stabil pada kisaran 20% hanya pada hari ke-21 sempat mengalami penurunan menjadi 10%. Pada hari ke-27 terjadi kenaikan efisiensi penyisihan menjadi 30% dan turun pada hari ke-30 menjadi 20%. Secara keseluruhan data, efisiensi penyisihan COD terbesar pada reaktor KA hanya mencapai 30% yang terjadi pada hari ke-27. Hal ini dikarenakan tidak adanya media maupun tanaman dalam sistem reaktor tersebut. Penyisihan yang terjadi hanya dilakukan oleh mikroorganisme yang memang sudah terkandung dalam air pengencer. Pada beberapa pengukuran juga terjadi penurunan efisiensi yang mungkin dikarenakan matinya mikroorganisme akibat tidak tercukupi suplai oksigen dan kondisi lingkungan yang kurang menunjang.

Pada reaktor KNA Media, terjadi efisiensi terbesar, yaitu 65% mulai hari ke-27 sampai hari ke-30. Baru terjadi penyisihan pada hari ke-3 dengan efisiensi 40% dan meningkat terus sehingga penyisihan menjadi stabil pada 60 % pada hari ke-21 sampai 24. Pada akhir penelitian hari ke-30 yaitu sebesar 65%. Penyisihan COD pada reaktor KNA Media lebih besar dibanding dengan reaktor KNA. Hal ini dikarenakan adanya media juga bisa dijadikan media tempat tumbuh bakteri sehingga pertumbuhannya bisa meningkat. Selain itu, media juga berperan sebagai filtrasi dalam penurunan kandungan organik dari limbah. Dengan diameter butiran media yang lebih kecil seperti pasir, akan menghasilkan luasan area yang lebih besar dan kecepatan filtrasi yang lebih lambat, sehingga partikel-partikel media pasir akan dapat menahan partikel-partikel padatan dalam air limbah untuk proses filtrasi.

Pada reaktor uji TNA 1 dan TNA 2, efisiensi penyisihan relatif lebih besar dari kedua kontrol dengan efisiensi rata - rata

terbesar 70%. Efisiensi terbesar terjadi pada hari ke-30 untuk reaktor TNA 1 dan reaktor TNA 2. Pada hari ke-3 terjadi efisiensi 30% untuk TNA 1 dan 50% untuk TNA 2. Pada hari ke-9 sampai hari ke-30, efisiensi cenderung naik pada kisaran 50-70% untuk rata-rata efisiensi penyisihan. Efisiensi penyisihan COD pada reaktor uji ini juga relatif masih kecil walaupun sedikit lebih besar dibanding reaktor kontrol. Hal ini kemungkinan dikarenakan kondisi tanaman yang kurang baik sehingga tidak mampu menyerap senyawa organik secara optimum. Penghilangan bahan organik sangat membutuhkan adanya organisme mikro yang proses penguraianya membutuhkan oksigen.

Dari hasil penelitian di atas, terdapat beberapa data dari reaktor uji yang sebenarnya tidak bisa dibuat rata-rata disebabkan selisih antara reaktor uji 1 dan 2 memiliki selisih yang jauh. Oleh karena itu perlu dibuat perhitungan secara teoritis dengan rasio COD/BOD untuk menghitung data-data yang kurang sesuai tersebut. Berikut adalah perhitungan secara teoritisnya.

✦ Data TNA 1 Hari Ke-3

$$\text{Rasio COD/BOD untuk TNA 2} = 3,4$$

$$\text{BOD untuk TNA 1} = 66,15$$

$$\text{COD untuk TNA 1} = 3,4 \times 66,15 = 225 \text{ mg/l}$$

✦ Data TNA 1 Hari Ke-9

$$\text{Rasio COD/BOD untuk TNA 2} = 4,7$$

$$\text{BOD untuk TNA 1} = 51,45$$

$$\text{COD untuk TNA 1} = 4,7 \times 51,45 = 242 \text{ mg/l}$$

✦ Data TNA 1 Hari Ke-21

$$\text{Rasio COD/BOD untuk TNA 2} = 2,8$$

$$\text{BOD untuk TNA 1} = 41,65$$

$$\text{COD untuk TNA 1} = 2,8 \times 41,65 = 120 \text{ mg/l}$$

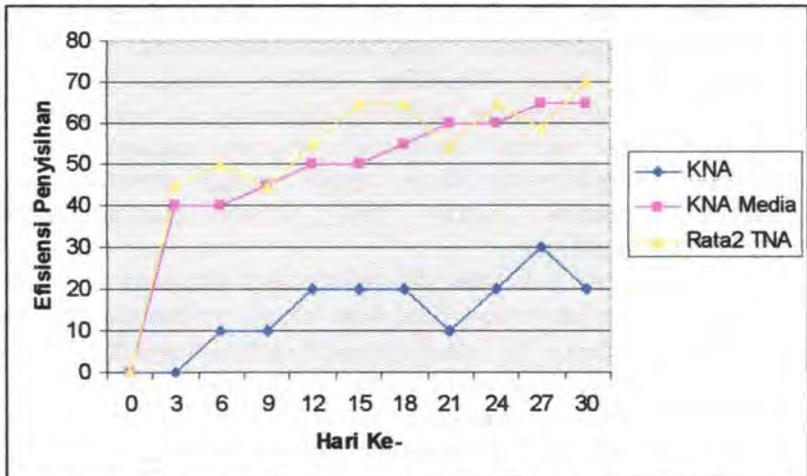
✦ Data TNA 1 Hari Ke-27

$$\text{Rasio COD/BOD untuk TNA 2} = 3,0$$

$$\text{BOD untuk TNA 1} = 76,13$$

$$\text{COD untuk TNA 1} = 3,0 \times 76,13 = 230 \text{ mg/l}$$

Dari hasil Tabel 4.7, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.9 untuk prosentase penurunan COD pada reaktor kontrol dan uji Tanpa Penambahan aerasi.



Gambar 4.9. Grafik Efisiensi Penyisihan COD Pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Dari Gambar 4.9. terlihat bahwa reaktor TNA memiliki efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga reaktor uji maupun kontrol. Walaupun rata-rata efisiensi yang dihasilkan juga tidak optimal karena hanya sekitar 30%. Hal ini dikarenakan tidak adanya aerasi yang menyebabkan kurangnya oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dalam penguraian senyawa organik pada limbah. Akibatnya tanaman juga akan kekurangan nutrisi yang disebabkan berkurangnya jumlah mikroorganisme pada media tanam. Pada proses perubahan unsur hara dari senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana akan diserap oleh tanaman untuk keperluan hidupnya (Khatuddin, 2003).

4.3.3. Perbandingan Efisiensi Penyisihan COD Antara Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Berikut akan ditampilkan Tabel perbandingan antara efisiensi BOD antara penambahan aerasi dengan tanpa penambahan aerasi.

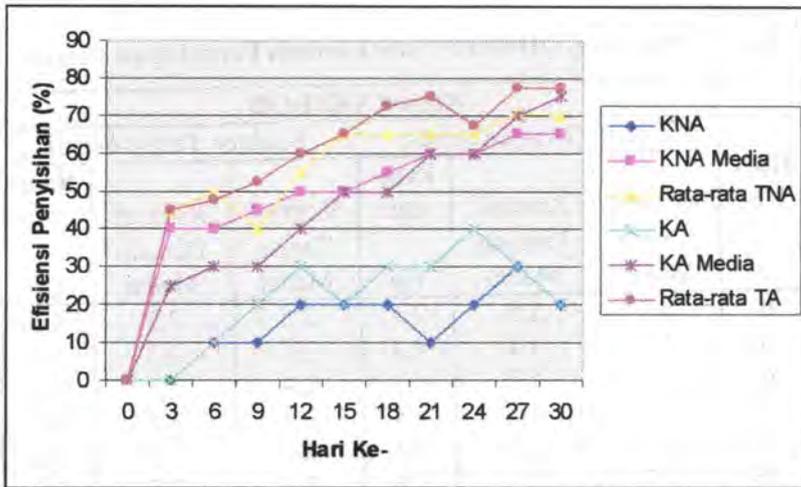
Tabel 4.8. Efisiensi Penyisihan BOD₅ oleh Reaktor Dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi

Hari Ke-	Tanpa Aerasi					Dengan Aerasi				
	KNA		KNA Media		Rata2 TNA	KA		KA Media		Rata2 TA
	COD KANA	Efisiensi (%)	COD KANA	Efisiensi (%)		COD KANA	Efisiensi (%)	COD KANA	Efisiensi (%)	
0	400	0	400	0	0	400	0	400	0	0
3	400	0,00	240	40	45	400	0	300	25	45
6	360	10,00	240	40	50	360	10	280	30	47,5
9	360	10,00	220	45	40	320	20	280	30	52,5
12	320	20,00	200	50	55	280	30	240	40	60
15	320	20,00	200	50	65	320	20	200	50	65
18	320	20,00	180	55	65	280	30	200	50	72,5
21	360	10,00	160	60	65	280	30	160	60	75
24	320	20,00	160	60	65	240	40	160	60	67,5
27	280	30,00	140	65	71	280	30	120	70	77,5
30	320	20,00	140	65	70	320	20	100	75	77,5

Keterangan :

- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
- KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
- Rata-rata TNA : Rata-rata tanaman uji tanpa aerasi
- KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, aerasi.
- KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, aerasi
- Rata-rata TA : Rata-rata tanaman uji dengan aerasi

Berikut juga akan digambarkan pada Gambar 4.8. Grafik efisiensi penyisihan COD oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor tanpa penambahan aerasi.



Gambar 4.10. Grafik Efisiensi Penyisihan COD Optimum oleh Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Dari grafik efisiensi penyisihan COD di atas, terlihat bahwa tumbuhan aerasi (TA) memiliki efisiensi penyisihan tertinggi. Hal ini disebabkan pada reaktor TA, adanya tanaman mampu menyerap kandungan organik yang sudah diuraikan oleh mikroorganisme dalam limbah sebagai unsur hara untuk memenuhi kebutuhan hidupnya dan adanya media juga berfungsi sebagai filtrasi dan sedimentasi. Sedangkan kontrol non aerasi tanpa media (KNA) memiliki efisiensi penyisihan yang terendah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor KNA sama sekali tidak terdapat tanaman dan media yang menunjang pertumbuhan mikroorganisme untuk menyisihkan senyawa organik dalam limbah.

4.3.4. Rasio COD/BOD

Dari hasil pengamatan nilai BOD dan COD dari limbah pencelupan benang setelah diolah dengan bioreaktor kana selama 30 hari, maka nilai rasio COD/BOD dapat disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Rasio COD/BOD Pada Limbah Pencelupan Benang

Hari Ke-	Rasio COD/BOD					
	Reaktor Dengan Aerasi			Reaktor Tanpa Aerasi		
	Kontrol Tanpa Media	Kontrol Dengan Media	Rata-rata Uji	Kontrol Tanpa Media	Kontrol Dengan Media	Rata-rata Uji
0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
3	2,7	4,4	4,3	2,8	3,3	3,5
6	2,7	4,2	4,1	2,4	3,5	3,2
9	3,2	4,4	4,4	3,1	3,1	4,7
12	2,3	3,0	4,1	2,6	3,3	3,6
15	2,7	2,9	3,6	2,5	3,5	2,5
18	2,3	3,4	3,3	2,9	3,3	3,1
21	2,4	3,4	2,7	3,1	3,1	2,8
24	1,9	4,7	4,3	2,5	2,7	3,4
27	2,3	4,5	3,5	2,3	3,6	3,0
30	2,6	4,1	4,1	2,8	3,8	3,8

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa rasio COD/BOD dari semua reaktor, baik pada kondisi dengan penambahan aerasi dan tanpa penambahan aerasi nilai COD/BOD selama 30 hari yaitu berkisar antara 2,3-4,7. Untuk keadaan dengan penambahan aerasi pada akhir pengamatan (hari ke-30), nilai COD/BOD pada reaktor kontrol tanpa media adalah 2,6 sedangkan untuk kontrol dengan media dan reaktor uji rasionya 4,1. Sedangkan untuk keadaan tanpa penambahan aerasi pada akhir pengamatan (hari ke-30), nilai COD/BOD pada reaktor kontrol tanpa media adalah 2,8 dan pada reaktor kontrol dengan

media rasionya 3,8. Sedangkan pada reaktor uji tanaman kana rasio COD/BOD sama dengan reaktor kontrol dengan media, yaitu 3,8. Hal ini menunjukkan bahwa pada keadaan dengan aerasi maupun tanpa aerasi, penurunan BOD dan COD relatif seimbang antara reaktor kontrol dengan media dan reaktor uji.

4.4. Penurunan Total Suspended Solid (TSS)

Penurunan *Total Suspended Solid* dalam *Constructed Wetland* terjadi melalui proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi. Proses sedimentasi terjadi dikarenakan air limbah harus melewati jaringan akar tanaman yang cukup panjang, sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap (Wood, 1990). Dengan waktu detensi yang lebih panjang maka padatan mempunyai kesempatan lebih besar untuk mengendap. Penghilangan padatan dengan filtrasi terjadi karena air limbah melewati media yang berpori sehingga padatan tertahan dalam pori-pori media. Struktur akar tanaman juga menyediakan jalur infiltrasi melalui lapisan atas media sehingga memastikan bahwa permukaan media filter tidak mengalami *clogging* (Alexander dalam Wood, 1990). Untuk padatan koloidal yang tidak dapat mengendap penyisihan terjadi melalui beberapa mekanisme. *Wetland* dalam fungsinya menyisihkan bahan organik berperan seperti halnya trickling filter. Kira-kira 80% dari total BOD adalah TSS dan padatan koloid (Benefield dan Randall, 1980 dalam Kusuma, 2005). Dengan demikian sebagian padatan tersuspensi dan koloid dihilangkan melalui penguraian mikro yang terjadi dalam reaktor. Media pasir dengan diameter butiran yang kecil mampu memberikan permukaantumbuh yang baik bagi bakteri pengurai.

Padatan koloidal akan menjadi suplai makanan bagi bakteri dan selama waktu tinggal padatan tersebut akan mengendap dan sebagian yang lain diuraikan oleh mikroba. Penyisihan padatan koloidal juga terjadi sebagai hasil penggabungan (gerak inersia dan brownian) yang menghasilkan

adsorpsi dengan padatan lain misalnya pada tanaman, dasar kolam, dan padatan tersuspensi (Polprasert, 1989).

4.4.1. Penurunan Kandungan TSS Pada Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi

Adapun hasil penurunan kandungan TSS untuk reaktor kontrol dan uji dengan penambahan aerasi dengan volume 20 L disajikan dalam Tabel 4.10. Pada awal operasi reaktor, efisiensi penyisihan masih fluktuatif hingga pada pengukuran hari ke-15. Hal ini dikarenakan reaktor masih beradaptasi dengan penambahan limbah yang memiliki volume yang besar. Pada pengukuran mulai hari ke-18 dan seterusnya efisiensi penyisihan relatif konstan. Pada reaktor KA, efisiensi penyisihan terbesar terjadi pada hari ke-27 sebesar 8,41%. Pada hari ke-3 terjadi penyisihan sebesar 1,08%, sedangkan pada hari ke-6 terjadi peningkatan penyisihan menjadi 3,66%. Pada hari ke-9 dan hari ke-12 terjadi penurunan efisiensi sebesar 0,43% dan 0,22%. Mulai hari ke-15 sampai akhir penelitian meningkat tetapi tidak terlalu signifikan yaitu antara 5,6–8,41%. Hal ini disebabkan tidak adanya media dan tanaman yang bisa berfungsi sebagai filter serta penyerap zat organik pada limbah. Pada reaktor KA Media (Kontrol dengan media & tanpa tanaman dengan penambahan aerasi) efisiensi penyisihan yang tertinggi sebesar 48,92% yang terjadi pada hari ke-30. Pada hari ke-3 sudah terjadi penyisihan yang cukup besar yaitu sebesar 42,46%. Efisiensi ini relatif stabil sampai hari ke-15.

Tabel 4.10. Efisiensi Penyisihan TSS untuk Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi

Hari ke-	KA		KA Media		TA 1		TA 2		TA rata-rata
	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	
	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	
0	464	0	464	0	464	0	464	0	0,00
3	459	1,08	267	42,46	175	62,28	222	52,16	57,22
6	447	3,66	263	43,32	161	65,30	216	53,45	59,38
9	462	0,43	259	44,18	150	67,67	207	55,39	61,53
12	463	0,22	278	40,09	137	70,47	199	57,11	63,79
15	438	5,60	263	43,32	142	69,40	224	51,72	60,56
18	435	6,25	252	45,69	121	73,92	171	63,15	68,53
21	429	7,54	255	45,04	108	76,72	127	72,63	74,68
24	427	7,97	245	47,20	82	82,33	108	76,72	79,53
27	425	8,41	241	48,06	74	84,05	97	79,09	81,57
30	428	7,76	237	48,92	61	86,85	82	82,33	84,59

Keterangan :

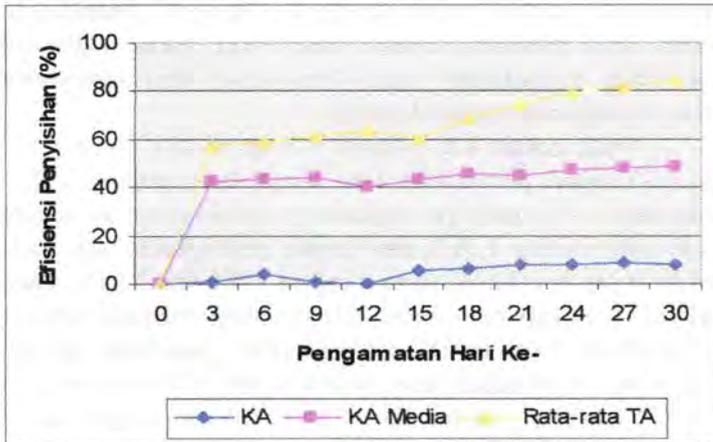
- KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, dengan aerasi.
- KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, dengan aerasi
- TA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, dengan aerasi.
- TA 2 : Reaktor uji limbah kedua dengan tanaman, dengan aerasi.

Sedangkan mulai hari ke-18 sampai hari ke-30 terjadi peningkatan efisiensi yang berkisar 45-49%. Efisiensi penyisihan pada reaktor ini cukup besar dikarenakan adanya penambahan aerasi yang berfungsi untuk penambahan kandungan oksigen dalam limbah yang berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Semakin banyak mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor, maka semakin banyak polutan organik yang teruraikan oleh mikroorganisme tersebut. Peningkatan efisiensi reaktor juga dikarenakan adanya proses filtrasi dan sedimentasi. Kerapatan media yang semakin tinggi menyebabkan kemampuan filtrasi meningkat karena kemampuan untuk menahan partikel-partikel solid pada media dengan porositas rendah lebih baik daripada media dengan porositas tinggi.

Pada reaktor tumbuhan aerasi yang dilakukan dengan replikasi, efisiensi penyisihannya mencapai hasil tertinggi pada hari ke-30 dengan efisiensi 86,85% untuk tumbuhan aerasi 1 dan 82,33% pada tumbuhan aerasi 2. Pada hari ke-3 untuk reaktor TA 1 mencapai efisiensi penyisihan sebesar 62,28% dan 52,16% pada reaktor TA 2. Pada hari ke-6 sampai hari ke-21, terjadi peningkatan efisiensi di kisaran 65-76% untuk reaktor TA 1 dan 55-72% untuk reaktor TA 2. Sedangkan mulai hari ke-24, terjadi peningkatan penyisihan yang relatif stabil sekitar 82-86% untuk reaktor TA 1 dan antara 76-82% untuk reaktor TA 2. secara rata-rata, efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 70% pada hari ke-30. Peningkatan efisiensi ini terjadi akibat adanya pertumbuhan mikroorganisme di dalam reaktor sehingga padatan dapat dihilangkan melalui penguraian seperti yang terjadi pada bahan organik. Semakin lama jumlah mikroorganisme dalam reaktor semakin bertambah sehingga penguraian padatan juga semakin besar. Penambahan jumlah mikroorganisme ini terkait dengan semakin berkembangnya tanaman di dalam reaktor. Akar tanaman yang semakin banyak akan meningkatkan suplai oksigen ke dalam reaktor, memperluas area permukaan lekat mikroorganisme yang berperan dalam penguraian padatan. Peningkatan efisiensi

penyisihan juga terkait dengan proses filtrasi dan sedimentasi di mana perkembangan tanaman Kana mampu meningkatkan efisiensi proses sedimentasi. Semakin banyaknya akar membantu mencegah terjadinya clogging pada proses filtrasi.

Dari Tabel 4.8, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.11 untuk prosentase penurunan TSS pada reaktor kontrol dan uji dengan penambahan aerasi.



Gambar 4.11. Grafik Efisiensi Penyisihan TSS oleh Reaktor Kontrol dan Uji dengan Penambahan Aerasi

Reaktor TA memiliki efisiensi penyisihan yang cenderung paling tinggi dibandingkan reaktor kontrol (Gambar 4.11). Sedangkan efisiensi penyisihan terendah terjadi pada reaktor KA. Hal ini dikarenakan pada reaktor KA tidak terdapat media dan tanaman yang berperan pada proses filtrasi dan absorpsi padatan dalam limbah. Sedangkan pada reaktor TA memiliki tanaman dan media sebagai tempat hidup mikroorganisme pengurai limbah dan membantu proses sedimentasi dan filtrasi.

4.4.2. Penurunan Kandungan TSS pada Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Adapun hasil penurunan kandungan TSS untuk reaktor kontrol dan uji tanpa penambahan aerasi disajikan dalam Tabel 4.9. Seperti pada reaktor yang menggunakan media aerasi pada awal operasi reaktor, efisiensi penyisihan masih fluktuatif hingga pada pengukuran hari ke-15. Hal ini dikarenakan reaktor masih beradaptasi dengan penambahan limbah yang memiliki volume yang besar, yaitu sekitar 20 liter. Pada pengukuran mulai hari ke-18 dan seterusnya efisiensi penyisihan mulai konstan.

Pada reaktor KNA (Kontrol tanpa media, non aerasi), hari ke-3 terjadi penyisihan yang sangat kecil sekitar 0,22%. Pada hari ke-6 terjadi peningkatan penyisihan walau sangat kecil yaitu sekitar 1,51% dan terjadi peningkatan lagi pada hari ke 9 dan hari ke-12 yaitu menjadi 2,8% dan 2,59%. Pada hari ke-15 terjadi penurunan efisiensi lagi menjadi sebesar 0,65%. Mulai hari ke-18 sampai akhir penelitian terjadi peningkatan penyisihan yang relatif stabil pada kisaran 3,6-6,25%. Efisiensi penyisihan yang terjadi sangat kecil dibandingkan reaktor yang menggunakan penambahan aerasi, terbesar hanya mencapai 6,25% yang terjadi pada hari ke-30. Hal ini dikarenakan penambahan aerasi berfungsi untuk penambahan kandungan oksigen dalam limbah yang berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Sedangkan jika tanpa penambahan aerasi, maka pertumbuhan mikroorganisme juga akan terhambat dikarenakan kurangnya oksigen yang berperan untuk pertumbuhannya. Pada reaktor KNA Media (Kontrol dengan media, non aerasi), hari ke-3 sudah terjadi penyisihan dengan efisiensi 35,13%, sedangkan pada hari ke-6 terjadi penurunan penyisihan sebesar 31,68%. Pada hari ke-9 sampai hari ke-30 terjadi peningkatan efisiensi penyisihan yang berkisar antara 39-45%. Efisiensinya lebih besar dari KNA namun masih lebih kecil dibandingkan KA Media.

Tabel 4.11. Efisiensi Penyisihan TSS untuk Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

Hari ke-	KNA		KNA Media		TNA 1		TNA 2		TNA rata-rata
	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	TSS	Efisiensi	
	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	
0	464	0	464	0	464	0	464	0	0
3	463	0,22	301	35,13	254	45	272	41,38	45
6	457	1,51	317	31,68	242	48	247	46,77	50
9	451	2,80	281	39,44	231	50	218	53,02	50
12	452	2,59	284	38,79	227	51	301	35,13	55
15	461	0,65	275	40,73	207	55	222	52,16	65
18	447	3,66	268	42,24	246	47	182	60,78	65
21	445	4,09	271	41,59	172	63	170	63,36	70
24	442	4,74	263	43,32	151	67	159	65,73	65
27	448	3,45	257	44,61	124	73	131	71,77	65
30	435	6,25	255	45,04	94	80	119	74,35	70

Keterangan :

- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
- KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
- TNA 1 : Reaktor uji limbah pertama dengan tanaman, tanpa aerasi.
- TNA 2 : Reaktor uji limbah kedua dengan tanaman, tanpa aerasi.

Efisiensi terbesar dicapai pada hari ke-30 dengan efisiensi 45,04%. Hal ini dikarenakan adanya aerasi berpengaruh terhadap penguraian zat organik dalam reaktor namun adanya media pasir dan kerikil membantu menyisihkan padatan dalam limbah melalui filtrasi dengan media tersebut.



(a)



(b)

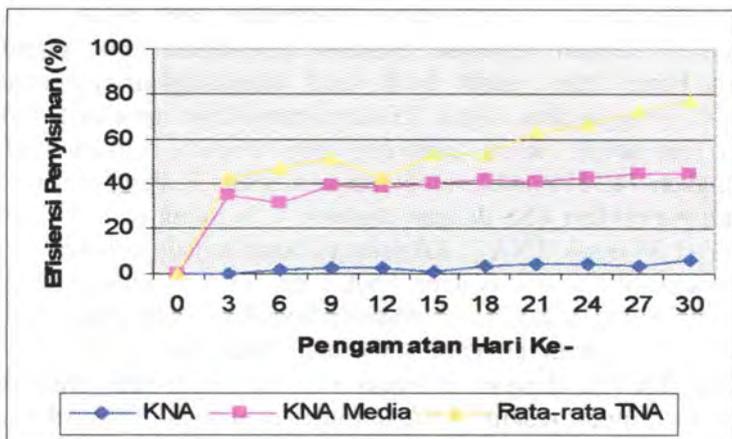


(c)

Gambar 4.12. Kondisi akar Sebelum dan Sesudah Berada pada Bioreaktor (a)Akar Tanaman Uji Sebelum Berada Pada Bioreaktor (b)Akar Tanaman Uji dengan Aerasi Setelah Berada Pada Bioreaktor (c)Akar Tanaman Uji Tanpa Aerasi Setelah Berada Pada Bioreaktor

Sedangkan pada reaktor tumbuhan non aerasi yang dilakukan dengan replikasi, efisiensi penyisihan yang terjadi cukup besar tetapi masih lebih kecil dibandingkan tumbuhan dengan menggunakan aerasi. Efisiensi penyisihan terbesar terjadi pada hari ke-30, untuk tumbuhan non aerasi 1 sebesar 80% sedangkan 74,35% untuk tumbuhan non aerasi 2. Pada hari ke-3 terjadi penyisihan TSS dengan efisiensi 45% untuk reaktor TNA 1 dan 41,38 untuk TNA 2. Efisiensi terbesar terjadi pada hari ke-30 sebesar 80% untuk reaktor TNA 1 dan 74,35% untuk reaktor TNA 2. Mulai terjadi peningkatan penyisihan yang stabil pada hari ke-21 dengan efisiensi 63% dan pada hari ke-18 untuk reaktor TNA 2 dengan efisiensi 60,78%. Rata-rata efisiensi penyisihan untuk reaktor TNA tertinggi mencapai 70%. Adanya aerasi berpengaruh terhadap keseimbangan mikroorganisme dalam reaktor yang mempengaruhi besar efisiensi penyisihan zat organik dalam limbah. Mekanisme penurunan kandungan zat padat tersuspensi (TSS) melalui proses filtrasi dan sedimentasi. Proses filtrasi berlangsung karena adanya media berporos yang dapat menyerap partikel pada porinya. Proses sedimentasi terjadi karena air limbah harus melalui jaringan akar tanaman yang cukup panjang sehingga partikel – partikel dapat mengendap setelah melewati media dan zona perakaran.

Dari hasil Tabel 4.11, kemudian digambarkan ke dalam Gambar 4.13 untuk prosentase penurunan TSS pada reaktor kontrol dan uji tanpa penambahan aerasi. Reaktor TNA memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi dibandingkan reaktor yang lain (Gambar 4.13). Hal ini dikarenakan adanya media dan tanaman dalam reaktor tersebut yang sangat membantu dalam pengendapan padatan dan proses filtrasi limbah. Sedangkan efisiensi penyisihan terendah terjadi pada reaktor KNA. Hal ini dikarenakan tidak adanya media dan tanaman yang sangat berpengaruh pada sedimentasi dan filtrasi dalam proses pengendapan partikel-partikel dalam sistem reaktor.



Gambar 4.13. Grafik Efisiensi Penyisihan TSS oleh Reaktor Kontrol dan Uji Tanpa Penambahan Aerasi

4.4.3. Perbandingan Efisiensi Penyisihan TSS Antara Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Berikut akan ditampilkan Tabel perbandingan efisiensi penyisihan TSS oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor tanpa penambahan aerasi.

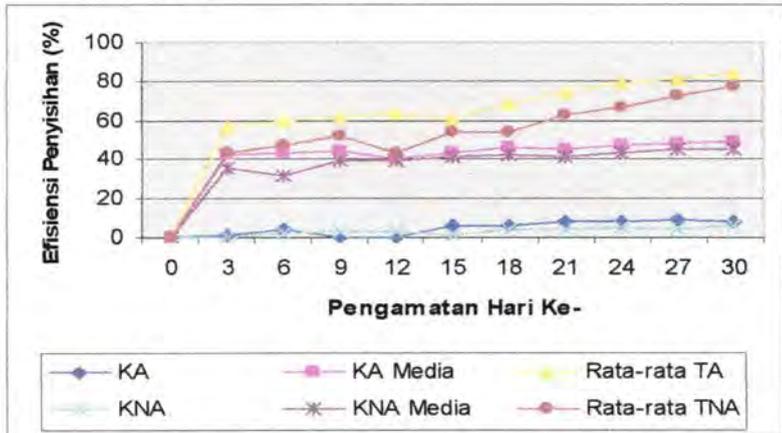
Tabel 4.12. Efisiensi Penyisihan TSS Optimum oleh Reaktor Dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Hari Ke-	Tanpa Aerasi					Dengan Aerasi				
	KNA		KNA Media		Rata2 TNA	KA		KA Media		Rata2 TA
	TSS KANA	Efisiensi (%)	TSS KANA	Efisiensi (%)		TSS KANA	Efisiensi (%)	TSS KANA	Efisiensi (%)	
0	464	0	464	0	0,00	464	0	464	0	0,00
3	463	0,22	301	35,13	43,32	459	1,08	267	42,46	57,22
6	457	1,51	317	31,68	47,31	447	3,66	263	43,32	59,38
9	451	2,80	281	39,44	51,62	462	0,43	259	44,18	61,53
12	452	2,59	284	38,79	43,10	463	0,22	278	40,09	63,79
15	461	0,65	275	40,73	53,77	438	5,60	263	43,32	60,56
18	447	3,66	268	42,24	53,88	435	6,25	252	45,69	68,53
21	445	4,09	271	41,59	63,15	429	7,54	255	45,04	74,68
24	442	4,74	263	43,32	66,59	427	7,97	245	47,20	79,53
27	448	3,45	257	44,61	72,52	425	8,41	241	48,06	81,57
30	435	6,25	255	45,04	77,05	428	7,76	237	48,92	84,59

Keterangan :

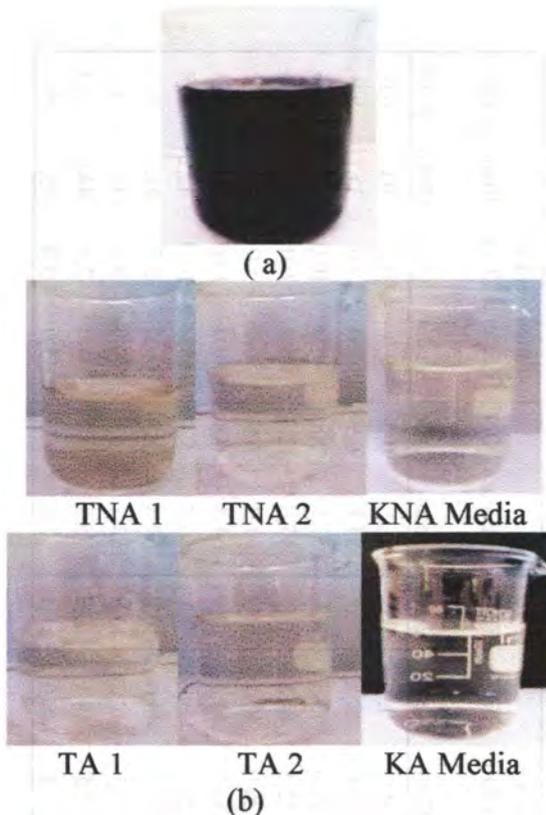
- KNA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, tanpa aerasi.
 KNA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, tanpa aerasi
 Rata-rata TNA : Rata-rata tanaman uji tanpa aerasi
 KA : Reaktor kontrol tanpa tanaman, tanpa media, aerasi.
 KA Media : Reaktor kontrol tanpa tanaman, dengan media, aerasi
 Rata-rata TA : Rata-rata tanaman uji dengan aerasi

Berikut akan digambarkan pada Gambar 4.14, grafik efisiensi penyisihan TSS oleh reaktor dengan penambahan aerasi dan reaktor tanpa penambahan aerasi.



Gambar 4.14. Grafik Efisiensi Penyisihan TSS Optimum oleh Reaktor dengan Penambahan Aerasi dan Reaktor Tanpa Penambahan Aerasi.

Dari Gambar 4.14 terlihat bahwa reaktor TA (tumbuhan aerasi) memiliki efisiensi penyisihan tertinggi dibandingkan reaktor uji yang lain. Hal ini disebabkan media pasir akan memudahkan akar tanaman Kana tersebut untuk berkembang sehingga pertumbuhan mikroorganisme dapat lebih banyak dan mendapatkan transfer oksigen lebih baik serta membantu proses pengendapan padatan. Oksigen merupakan unsur hara yang penting untuk proses-proses metabolisme (Islam dan Utomo, 1995). Sedangkan kontrol non aerasi tanpa media memiliki efisiensi penyisihan yang terendah dibandingkan dengan yang lain. Hal itu dikarenakan pada reaktor KNA sama sekali tidak terdapat tanaman dan media yang menunjang pertumbuhan mikroorganisme untuk mengurangi senyawa organik dalam limbah. Pada teknologi rawa buatan, tanaman berfungsi sebagai pendukung kehidupan organisme mikro pengurai limbah.



Gambar 4.15. Gambar Limbah Sebelum dan Sesudah Pengolahan (a) Sebelum Pengolahan (b) Setelah Pengolahan

4.5. Perbandingan pengaruh media dan tanaman pada efisiensi penyisihan BOD₅, COD dan TSS

Pada Tabel 4.13 berikut ini akan ditampilkan perbandingan antara peranan media dan peranan tanaman dalam penyisihan BOD₅, COD dan TSS pada limbah *home industry* pencelupan benang.

Tabel 4.14 Hasil Perbandingan Efisiensi BOD, COD dan TSS antara Media dan Kana

Hari Ke-	Dengan Aerasi						Tanpa Aerasi					
	Efisiensi BOD (%)		Efisiensi COD (%)		Efisiensi TSS (%)		Efisiensi BOD (%)		Efisiensi COD (%)		Efisiensi TSS (%)	
	Media	Kana										
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	57,1	10,7	25,0	20,0	42,5	7,5	54,1	6,9	40,0	5,0	35,1	9,9
6	58,7	9,2	30,0	17,5	43,3	3,3	57,1	3,8	40,0	10,0	31,7	18,3
9	60,2	12,3	30,0	22,5	44,2	0,8	55,6	12,3	45,0	0,0	39,4	10,6
12	49,5	25,3	40,0	20,0	40,1	14,9	61,7	6,9	50,0	5,0	38,8	16,2
15	57,1	17,6	50,0	15,0	43,3	11,7	64,8	0,8	50,0	15,0	40,7	24,3
18	63,3	15,3	50,0	22,5	45,7	9,3	66,3	5,4	55,0	10,0	42,2	22,8
21	70,9	3,8	60,0	15,0	45,0	10,0	67,8	1,5	60,0	2,5	41,6	28,4
24	78,6	2,3	60,0	7,5	47,2	12,8	63,3	10,7	60,0	5,0	43,3	21,7
27	83,2	0,8	70,0	7,5	48,1	16,9	75,5	0,0	65,0	2,5	44,6	20,4
30	84,7	1,5	75,0	2,5	48,9	21,1	77,0	2,3	65,0	5,0	45,0	25,0

Pada tabel di atas terlihat bahwa peranan media lebih besar dibandingkan tanaman. Adanya media bisa dijadikan tempat tumbuh bakteri sehingga pertumbuhannya bisa meningkat. Selain itu, media juga berperan sebagai filtrasi dalam penurunan kandungan organik dari limbah. Dengan diameter butiran media yang lebih kecil seperti pasir, akan menghasilkan luasan area yang lebih besar dan kecepatan filtrasi yang lebih lambat, sehingga partikel-partikel media pasir akan dapat menahan partikel-partikel padatan dalam air limbah untuk proses filtrasi. Karena itu media bisa menurunkan kandungan BOD, COD serta TSS dalam jumlah yang besar dan bisa secara langsung dikarenakan proses fisik yang terjadi pada air limbah, yaitu filtrasi dan sedimentasi.

Adanya tanaman dalam pengolahan air limbah juga berperan sebagai persediaan tempat tumbuh bakteri, filtrasi partikel, translokasi oksigen ke dalam zona akar (Wood, 1990). Keadaan akar yang teraerasi dengan baik akan memungkinkan bakteri hidup dengan mudah di akar tanaman dan mampu menguraikan secara aerobik bahan pencemar dalam air limbah yang merembes di sela-sela akar. Senyawa organik pada limbah didegradasi secara aerob oleh bakteri yang menempel pada bagian bawah tanaman (akar dan rhizoma) dan permukaan media. Namun pada kenyataannya, peran tanaman tidak terlalu besar kemungkinan dikarenakan hanya ada 1 tanaman dalam reaktor sehingga efisiensi penyisihannya menjadi kurang optimum.

4.6. Perubahan pH

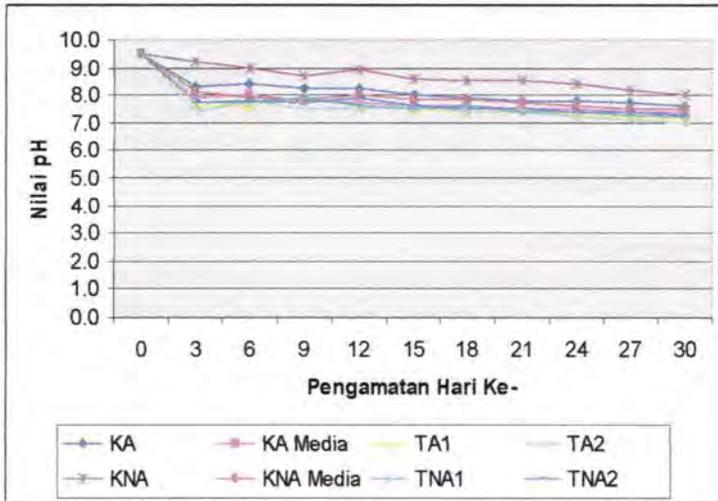
Selama berlangsungnya penelitian, pH limbah pada reaktor uji dan reaktor kontrol cenderung stabil. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 4.15. Pada tabel tsb dapat dilihat bahwa pH limbah cenderung stabil. Naik dan turunnya nilai pH tidak mempunyai pengaruh terhadap perubahan warna limbah, karena berubahnya nilai pH tidak terlalu tajam. Untuk lebih jelasnya, perubahan pH pada reaktor uji aerasi dan non-aerasi dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Tabel 4.15. Hasil Pengukuran pH

Hari Ke-	Nilai pH							
	KA	KA Media	TA1	TA2	KNA	KNA Media	TNA1	TNA2
0	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
3	8,3	7,9	7,6	7,4	9,2	8,1	7,7	7,7
6	8,4	8,0	7,6	7,8	9,0	7,9	7,7	7,8
9	8,3	7,8	7,9	7,5	8,7	7,8	7,9	7,7
12	8,2	7,7	7,6	7,5	8,9	8,0	7,6	7,9
15	8,0	7,6	7,5	7,6	8,6	7,8	7,5	7,6
18	7,9	7,6	7,4	7,4	8,5	7,8	7,6	7,5
21	7,8	7,5	7,5	7,4	8,5	7,7	7,4	7,5
24	7,8	7,5	7,3	7,2	8,4	7,6	7,4	7,4
27	7,7	7,4	7,2	7,1	8,2	7,5	7,3	7,4
30	7,6	7,4	7,1	7,0	8,0	7,5	7,2	7,3

Keterangan:

- KA : reaktor kontrol aerasi
 KNA : reaktor kontrol non-aerasi
 KA Media : reaktor kontrol aerasi
 KNA Media : reaktor kontrol non-aerasi
 TA1 : reaktor uji aerasi I
 TA2 : reaktor uji aerasi II
 TNA1 : reaktor uji non-aerasi I
 TNA2 : reaktor uji non-aerasi II



Gambar 4.16. Pengukuran pH pada Kondisi Aerasi dan Non-Aerasi

Pada Gambar 4.16, pH limbah untuk reaktor uji pada kondisi aerasi dan non-aerasi setiap harinya. Walaupun nilai pH fluktuatif, tetapi nilai pH cenderung turun. Penurunan pH ini terjadi mungkin disebabkan oleh adanya pelepasan ion H^+ . pH larutan tanah pengaruhnya besar terhadap banyak mproses penting dari tanah dan tumbuhan. pH itu mempunyai peranan penting untuk menyesuaikan dengan sempurna. Untuk kondisi aerasi, nilai pH limbah selama berlangsungnya penelitian berada pada rentang 7,0-9,5. Sedangkan untuk kondisi non-aerasi, nilai pH limbah selama berlangsungnya penelitian berada pada rentang 7,2-9,5. Nilai pH ini masih dalam range yang sesuai dengan nilai pH tanaman Kana yaitu 6-8 (Rukmana, 1997).

Selama berlangsungnya penelitian, pada reaktor kontrol baik aerasi maupun non-aerasi mempunyai nilai pH pada rentang pH lebih rendah daripada reaktor uji. Nilai pH pada masing-masing reaktor kontrol baik aerasi maupun non-aerasi adalah relatif konstan walaupun ada perubahan nilai pH. Untuk pH

limbah pada reaktor kontrol aerasi dan non-aerasi mempunyai harga yang berbeda setiap harinya. Walaupun nilai pH naik turun, tetapi nilai pH cenderung stabil. Nilai pH limbah untuk kontrol aerasi selama berlangsungnya penelitian adalah pada rentang 7,4-9,5. Sedangkan nilai pH limbah untuk kontrol non-aerasi selama berlangsungnya penelitian adalah pada rentang 7,5-9,5.

4.7. Perubahan Suhu

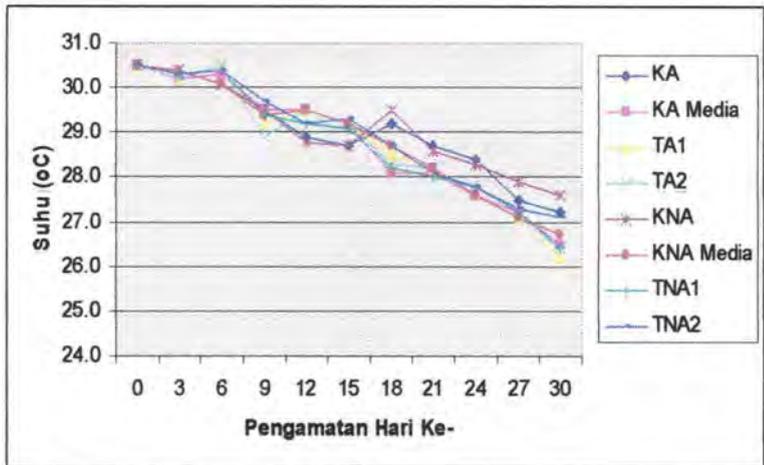
Suhu air limbah mempengaruhi aktivitas mikroorganismes dalam proses pengolahan air limbah sehingga akan mempengaruhi kualitas yang dihasilkan secara tidak langsung (Wood, 1990). Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengukuran suhu media tanam. Data mengenai pengukuran nilai suhu yang terjadi selama penelitian berlangsung ditampilkan pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.17.

Tabel 4.16. Hasil Pengukuran Suhu

Hari ke	Nilai Suhu ($^{\circ}\text{C}$)							
	KA	KA Media	TA1	TA2	KNA	KNA Media	TNA1	TNA2
0	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
3	30,2	30,2	30,2	30,2	30,4	30,4	30,3	30,3
6	30,3	30,3	30,5	30,5	30,1	30,1	30,4	30,4
9	29,5	29,5	29,2	28,9	29,5	29,4	29,4	29,7
12	28,9	29,5	29,5	29,5	28,8	29,5	29,2	29,2
15	28,7	29,2	29,2	29,2	28,7	29,2	29,1	29,3
18	29,2	28,1	28,5	28,3	29,5	28,7	28,2	28,7
21	28,7	28,1	28,2	28,2	28,6	28,2	28,0	28,1
24	28,4	27,6	27,6	27,6	28,3	27,6	27,8	27,8
27	27,5	27,2	27,1	27,1	27,9	27,1	27,2	27,3
30	27,2	26,5	26,2	26,4	27,6	26,7	26,4	27,1

Keterangan:

- KA : reaktor kontrol aerasi
 TA1 : reaktor uji aerasi I
 KNA : reaktor kontrol non-aerasi
 TA2 : reaktor uji aerasi II
 KA Media : reaktor kontrol aerasi
 TNA1 : reaktor uji non-aerasi I
 KNA Media : reaktor kontrol non-aerasi
 TNA2 : reaktor uji non-aerasi II



Gambar 4.17 Grafik Pengukuran Suhu Limbah Pada Reaktor Aerasi dan Non-aerasi

Pada Gambar 4.17 ditunjukkan perubahan suhu tidak hanya terjadi pada reaktor uji, melainkan juga terjadi pada reaktor kontrol tetapi tidak terjadi perbedaan nilai suhu yang signifikan untuk reaktor uji dan reaktor kontrol. Naik turunnya suhu pada reaktor uji dan reaktor kontrol cenderung bersamaan setiap harinya. Walaupun demikian, selama penelitian berlangsung nilai suhu media tanam reaktor uji berkisar antara 26,2°C sampai dengan 30,5°C. Suhu tersebut masih dalam kisaran suhu optimum yang diperlukan Kana agar dapat tumbuh dengan baik yaitu antara 18°C-32°C (Rukmana, 1997 dalam Prihastri, 2006). Penurunan suhu selama penelitian kemungkinan dikarenakan adanya penyerapan energi pada air limbah untuk menyesuaikan dengan atmosfer di sekitar reaktor. Hal itulah yang menyebabkan penurunan suhu pada air limbah setiap harinya.

4.8. Alternatif Lain Pengolahan Limbah Pencelupan Benang

Dari penelitian yang sudah dilakukan untuk menurunkan kandungan organik dalam limbah industri pencelupan benang melalui analisis COD, BOD₅ dan TSS, hasil penyisihan polutan organik belum optimal. Efisiensi penyisihan hanya berada pada kisaran 20-80 % untuk semua parameter. Dari penelitian ini bisa disimpulkan bahwa penggunaan tanaman Kana untuk pengolahan tersier masih kurang efektif untuk penurunan kandungan organik dalam limbah pencelupan benang. Hal ini kemungkinan dikarenakan konsentrasi limbah yang terlalu pekat serta kandungan organik yang terkandung dalam limbah sangat kompleks sehingga sulit untuk disisihkan oleh sistem bioreaktor Kana. Maka dari itu sebelum masuk ke pengolahan tersier harus ada pengolahan terlebih dahulu untuk mengurangi beban kandungan organik dalam limbah pencelupan benang.

Alternatif pengolahan pendahuluan yang dilakukan adalah penambahan koagulan sebelum limbah masuk ke dalam sistem bioreaktor. Dari ide tersebut dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui dosis optimum penambahan flokulan. Kekeruhan dapat dihilangkan melalui pembubuhan sejenis bahan kimia dengan sifat-sifat tertentu yang disebut flokulan. Umumnya flokulan tersebut adalah tawas, namun dapat pula garam Fe (III), atau suatu polielektrolit organik (Alaerts dan Santika, 1987). Flokulan yang dipilih ada 2 jenis, yaitu PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan Aluminium Sulfat/tawas. Kedua koagulan ini dipilih berdasarkan pertimbangan, tawas sangat mudah sekali didapat dan harganya sangat terjangkau. Sedangkan PAC merupakan koagulan yang efektif menurunkan TSS dan COD berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu. PAC mampu menurunkan TSS hingga mencapai efisiensi 96% (Susanti, 1995). Selain pembubuhan koagulan, juga diperlukan pengadukan sampai flok-flok terbentuk. Flok-flok ini mengumpulkan partikel-partikel kecil dan koloid tersebut dan akhirnya mengendap (Alaerts dan Santika, 1987).



4.8.1. Koagulasi-Flokulasi oleh *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

Proses koagulasi-flokulasi ini menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Untuk menentukan dosis yang optimal flokulan dan nilai-nilai parameter lain seperti pH, jenis flokulan yang akan digunakan dalam proses flokulasi, dan sebagainya, dilakukan jar test. Jar tes merupakan model sederhana proses flokulasi (Alaerts dan Santika, 1987). pH efektif PAC berada pada kisaran 4,5-7 (Citrasari, V, 2004). Proses koagulasi dilakukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit dan flokulasi dilakukan dengan kecepatan 30 rpm selama 15 menit. Kecepatan agitasi dilakukan pada 100 rpm selama 1 menit dengan pertimbangan bahwa kecepatan yang tinggi akan mengurangi gaya tolak menolak antara partikel koloid (Reynold, 1996). Setelah itu, dilakukan flokulasi dengan kecepatan 30 rpm selama 15 menit untuk memberi waktu kontak antara zat warna dan koagulan membentuk flok yang lebih besar sehingga flok-flok tersebut dapat mengendap.

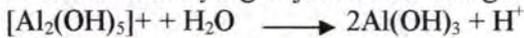
Kondisi awal sampel saat dilakukan percobaan ditunjukkan pada Tabel 4.17:

Tabel 4.21. Karakteristik Limbah Pencelupan Benang

No	Karakteristik	Limbah Industri Pencelupan Benang	Baku Mutu*
1	Bentuk	Larutan	-
2	Warna	Hitam pekat	-
3	pH	11,5	6-9
4	Temperatur	30,5 ⁰ C	40 ⁰ C
5	COD	26800 mg/L	100 mg/L
6	BOD ₅	10720 mg/L	50 mg/L
7	TSS	24216 mg/l	50 mg/l

*Keputusan Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Lainnya di Jawa Timur

Untuk proses koagulasi-flokulasi dibutuhkan dosis koagulan PAC dalam rentang 15-100 mg/L. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pada rentang dosis ini untuk mengetahui kemungkinan keefektifan PAC. Dosis yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 mg/l; 40 mg/l; 60 mg/l; 80 mg/l; 100 mg/l; 120 mg/l. Dalam proses koagulasi-flokulasi dengan PAC terjadi reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



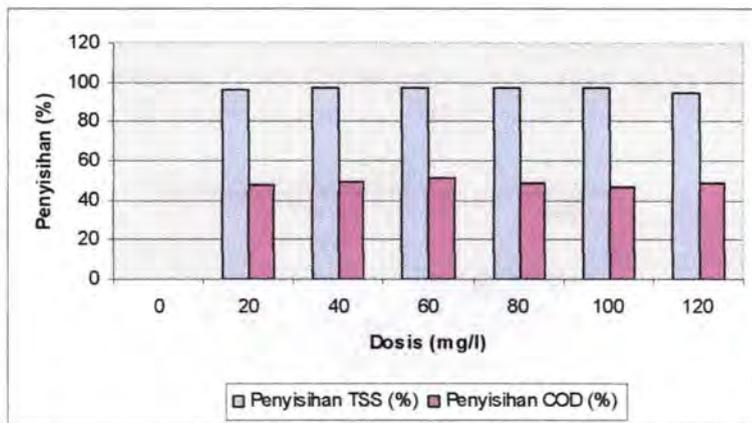
Gambar 4.18. Proses Agitasi pada Jar tes

Agitasi dilakukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit dan 30 rpm 15 menit. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18. Uji Penentuan Dosis Optimum PAC

Dosis (mg/l)	TSS	% Penyisihan	COD	% Penyisihan
0	24216	0	26800	0
20	824	96,60	13970	47,87
40	640	97,36	13550	49,44
60	624	97,42	13100	51,12
80	788	96,75	13700	48,88
100	776	96,80	14250	46,83
120	1428	94,10	13760	48,66

Dari data-data Tabel 4.18 tersebut selanjutnya dibuat suatu grafik yang menghubungkan dosis PAC dengan persen penyisihan TSS dan COD sebagaimana dilihat pada Gambar 4.19.



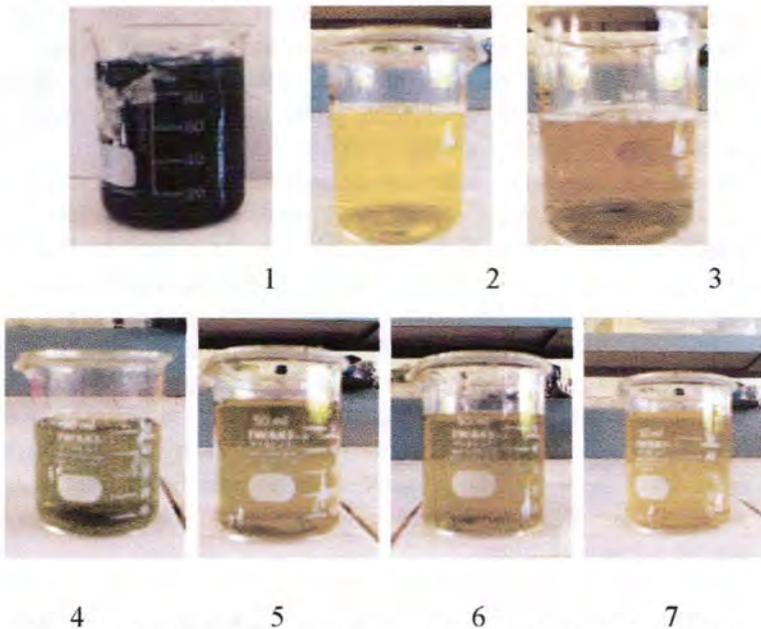
Gambar 4.19. Penyisihan (%) TSS dan COD oleh PAC

Pada Gambar 4.19 penyisihan TSS terjadi pada dosis PAC 60 mg/L yaitu sebesar 79,93%. Pada penambahan dosis lebih dari 60 mg/L terjadi penurunan persen penyisihan TSS karena pemberian PAC dengan dosis berlebihan dapat menghasilkan tempat-tempat yang tidak dapat dinetralisasi dan menyebabkan struktur rantai lurus yang tahan dan stabil. Kekuatan ion yang rendah dapat menyebabkan ionisasi derajat tinggi yang dapat menyebabkan polimer tidak berubah bentuk dan menghalangi koagulasi (Susanti, 1995).

Sedangkan untuk penyisihan COD terbesar juga terjadi pada dosis 60 mg/l yaitu sebesar 51,12%. Pada dosis lebih dari 60 mg/l, nilai COD cenderung turun hanya pada dosis 120 mg/l penyisihan COD mengalami kenaikan. Menurut (Alaerts dan Santika, 1997), kekeruhan dalam air oleh adanya zat tersuspensi seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton dan zat-zat halus lainnya.. Sedangkan dalam analisis COD, dilakukan pengukuran

terhadap zat organik yang ada pada sampel. Sehingga apabila TSS turun maka COD juga mengalami penurunan.

Dari kedua analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa dosis optimum pembubuhan koagulan terjadi pada dosis penambahan PAC sebesar 60 mg/l dengan persen penyisihan TSS mencapai 79,93% dan persen penyisihan COD sebesar 51,12%.



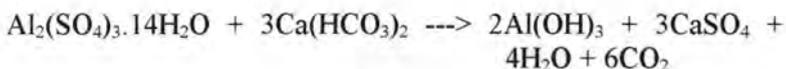
Gambar 4.20. Hasil Pengamatan Limbah Sebelum dan Sesudah Flokulasi dengan Penambahan PAC

Keterangan:

1. Warna Limbah Asli Tanpa Penambahan PAC
2. Limbah dengan penambahan 20 mg/L PAC
3. Limbah dengan penambahan 40 mg/L PAC
4. Limbah dengan penambahan 60 mg/L PAC
5. Limbah dengan penambahan 80 mg/L PAC
6. Limbah dengan penambahan 100 mg/L PAC
7. Limbah dengan penambahan 120 mg/L PAC

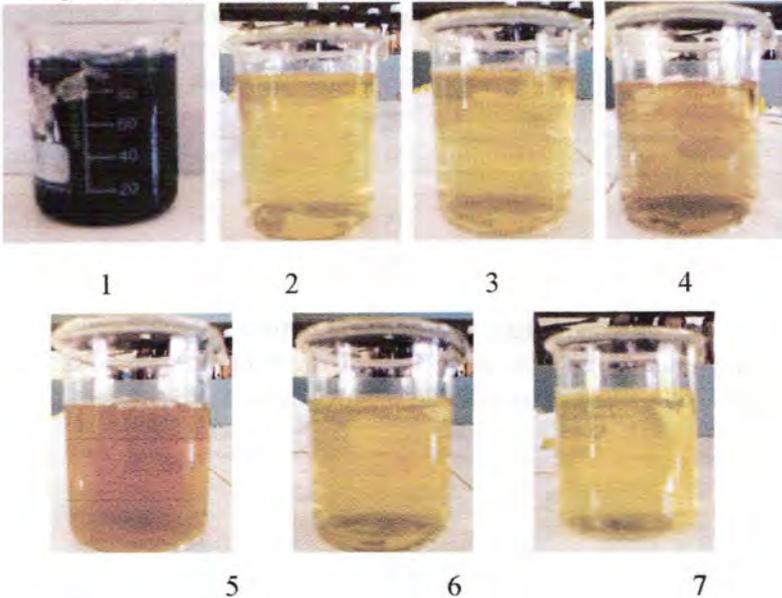
4.8.2. Koagulasi-Flokulasi oleh Aluminium Sulfat / Tawas

Aluminium Sulfat merupakan salah satu koagulan yang sering digunakan dalam koagulasi-flokulasi karena harganya yang relatif murah dan mudah didapat. Derajat pH yang optimum untuk alum berkisar 6,8-7,8, karena aluminium hidroksida relatif tidak terlarut (Rinawati,L, 1995). Proses koagulasi dilakukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit dan flokulasi dilakukan dengan kecepatan 30 rpm selama 15 menit. Kecepatan agitasi dilakukan pada 100 rpm selama 1 menit dengan pertimbangan bahwa kecepatan yang tinggi akan mengurangi gaya tolak menolak antara partikel koloid (Reynold, 1996). Setelah itu, dilakukan flokulasi dengan kecepatan 30 rpm selama 15 menit untuk memberi waktu kontak antara zat warna dan koagulan membentuk flok yang lebih besar sehingga flok-flok tersebut dapat mengendap. Untuk proses koagulasi-flokulasi dibutuhkan dosis koagulan aluminium sulfat dalam rentang 100-350 mg/L (Sukmawati, 2004). Sehingga pada penelitian ini dilakukan pada rentang dosis ini untuk mengetahui kemungkinan keefektifan aluminium sulfat. Dosis yang digunakan pada penelitian ini adalah 100 mg/l;150 mg/l;200 mg/l;250 mg/l;300 mg/l;350 mg/l. Dalam proses koagulasi-flokulasi dengan Aluminium Sulfat terjadi reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Agitasi dilakukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit dan 30 rpm 15 menit. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.18.

terbentuk terlalu kecil sehingga proses pengendapan tidak berlangsung dengan baik.



Gambar 4.22. Hasil Pengamatan Limbah Sebelum dan Sesudah Flokulasi dengan Penambahan Tawas
Keterangan:

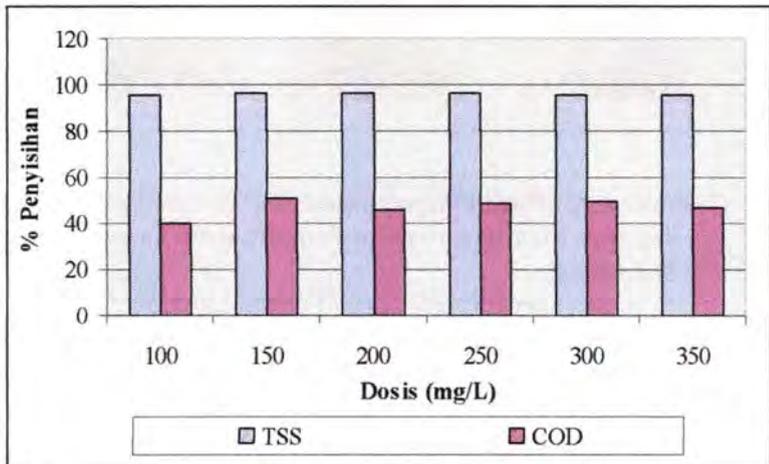
1. Warna Limbah Asli Tanpa Penambahan tawas
2. Limbah dengan penambahan 100 mg/L tawas
3. Limbah dengan penambahan 150 mg/L tawas
4. Limbah dengan penambahan 200 mg/L tawas
5. Limbah dengan penambahan 250 mg/L tawas
6. Limbah dengan penambahan 300 mg/L tawas
7. Limbah dengan penambahan 350 mg/L tawas

Sedangkan untuk penyisihan COD terbesar juga terjadi pada dosis 150 mg/l sebesar 50.75%. Pada dosis lebih dari 150 mg/l, nilai COD cenderung naik turun tetapi % penyisihannya

Tabel 4.18. Uji Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat

Dosis (mg/L)	TSS (mg/L)	% Penyisihan	COD (mg/L)	% Penyisihan
0	24216	0	26800	0
100	1064	95,61	16000	40,30
150	948	96,09	13200	50,75
200	1216	94,98	14500	45,90
250	1048	95,67	13700	48,88
300	1016	95,80	13600	49,25
350	1236	94,90	14400	46,27

Dari data-data tersebut selanjutnya dibuat suatu grafik yang menghubungkan dosis PAC dengan persen penyisihan TSS dan COD sebagaimana dilihat pada Gambar 4.21. berikut.

**Gambar 4.21. Penyisihan (%) TSS dan COD oleh Aluminium Sulfat**

Pada Gambar 4.21 tersebut terlihat bahwa persen penyisihan TSS terjadi pada dosis Alum 150 mg/L yaitu sebesar 96,09%. Pada penambahan dosis lebih dari 150 mg/L terjadi penurunan persen penyisihan TSS karena ukuran flok yang

masih berada di bawah % penyisihan oleh dosis 150 mg/l. Menurut (Alaerts dan Sumetri, 1997), kekeruhan dalam air oleh adanya zat tersuspensi seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton dan zat-zat halus lainnya. Sehingga apabila TSS turun maka kandungan organik/COD juga cenderung mengalami penurunan.

Dari kedua analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa dosis optimum pembubuhan koagulan terjadi pada dosis penambahan Aluminium Sulfat sebesar 150 mg/l dengan % penyisihan TSS mencapai 96,09% dan % penyisihan COD sebesar 50,75%.

Dari segi ekonomis, aluminium sulfat bisa dipilih sebagai alternatif koagulan untuk pengolahan limbah pada *home industry* pencelupan benang. Sedangkan berdasarkan teori, PAC lebih tepat untuk diterapkan dikarenakan PAC merupakan polimer yang memiliki struktur rantai molekul rangkap yang panjang sehingga lebih kuat dalam mengikat senyawa-senyawa yang akan diendapkan dan mempermudah proses pengendapan. Hal itulah yang menyebabkan efisiensi penyisihan COD dan TSS lebih besar dibandingkan dengan aluminium sulfat.

4.9. Alternatif Bangunan Pengolahan Limbah *Home Industry* Pencelupan Benang

Dengan mempertimbangkan kualitas limbah yang sangat jauh dari baku mutu dengan nilai BOD₅, COD dan TSS melebihi 10000 mg/l serta penelitian yang sudah dilakukan, maka diperlukan pengolahan pendahuluan (primer dan sekunder) untuk bisa diaplikasikan pada *home industry* tersebut. Bioreaktor Kana hanya merupakan pengolahan tersier yang tidak efektif diaplikasikan jika limbah tidak diencerkan terlebih dahulu. Proses koagulasi-flokulasi ternyata juga kurang optimal untuk bisa dijadikan pengolahan pendahuluan sebelum masuk ke bioreaktor Kana.

Dari beberapa data penelitian yang sudah dilakukan, maka dibuat 3 alternatif bangunan pengolahan limbah

pencelupan benang yang kemungkinan bisa diaplikasikan pada industri tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 4.32. sampai 4.34. Dari ketiga alternatif ini nantinya akan dipilih salah satu yang paling efektif untuk bisa diaplikasikan ditinjau dari segi efisiensi, teknis, ekonomis maupun operasional dan pemeliharannya. Dari tiap-tiap alternatif tersebut dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan BOD, COD dan TSS. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.19. sampai Tabel 4.21.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.19. sampai 4.21 dapat diketahui bahwa ketiga alternatif pengolahan mampu menurunkan kandungan COD, BOD dan TSS hingga memenuhi baku mutu. Dari ketiga alternatif pengolahan, dipilih alternatif pengolahan III, yaitu pengolahan secara anaerobik menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*. Beberapa keuntungan dan kerugian dari penggunaan ketiga alternatif pengolahan adalah:

1. Alternatif I

Keuntungan yang didapat, yaitu:

- *Oxydation ditch* memiliki efisiensi penyisihan COD, BOD dan TSS hingga mencapai 90% sehingga dihasilkan *effluent* yang memenuhi baku mutu.
- Lumpur yang dihasilkan dari *Oxydation ditch* relatif sedikit dan stabil.
- ABR memiliki efisiensi penyisihan COD, BOD mencapai 90% dan TSS mencapai 72% sehingga dihasilkan *effluent* yang memenuhi baku mutu (Pranoto, 2002 dalam Haris, 2007).
- Potensi menghasilkan biogas yang dihasilkan dari pemakaian ABR.
- *Effluent* yang dihasilkan tidak berbau.

Kerugian dari pemakaian alternatif pengolahan I, yaitu:

- Memerlukan area yang luas karena adanya pemakaian *Oxydation ditch*.
- Biaya operasional dan pemeliharannya mahal.

- Banyak menghasilkan lumpur dari bangunan sedimentasi dan *Oxydation ditch*.

2. Alternatif II

Keuntungan dari penggunaan alternatif pengolahan II, yaitu:

- Memiliki efisiensi removal COD, BOD dan TSS mencapai 90%.
- *Effluent* yang dihasilkan tidak berbau.
- Operasional dari *activated sludge* mudah.
- Kebutuhan area untuk *activated sludge* tidak luas.
- Potensi menghasilkan biogas yang dihasilkan dari pemakaian ABR.

Kerugiannya antara lain:

- Biaya operasional dan pemeliharannya mahal.
- Memerlukan proses stabilisasi lumpur.
- Memerlukan area yang luas.

3. Alternatif III

Keuntungan:

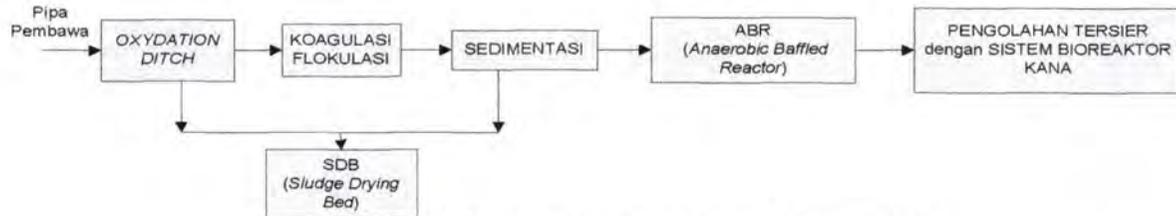
- ✓ Tidak dihasilkannya lumpur dari pemakaian ABR.
- ✓ Tidak memerlukan lahan yang luas.
- ✓ Potensi menghasilkan biogas.
- ✓ Biaya operasional dan pemeliharannya tidak mahal.
- ✓ ABR memiliki efisiensi removal COD dan BOD dapat mencapai 90%. Sedangkan efisiensi removal TSS mencapai 72% (Pranoto, 2002 dalam Haris, 2007).
- ✓ Dapat digunakan untuk mengolah beberapa jenis limbah, baik air limbah dengan beban organik tinggi, rendah ataupun air limbah dengan padatan tinggi (Polprasert, 1996).

Dari alasan tersebut, maka alternatif ketiga yang dipilih sebagai alternatif pengolahan pendahuluan sebelum limbah pencelupan benang dimasukkan ke dalam bioreaktor Kayu Apu. Sehingga *effluent* yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu.

Kerugian:

- ✓ Efisiensi removal TSS maksimal yang mampu dihasilkan sebesar 72%, sehingga dalam pengolahan limbah pencelupan benang membutuhkan banyak *stage*.

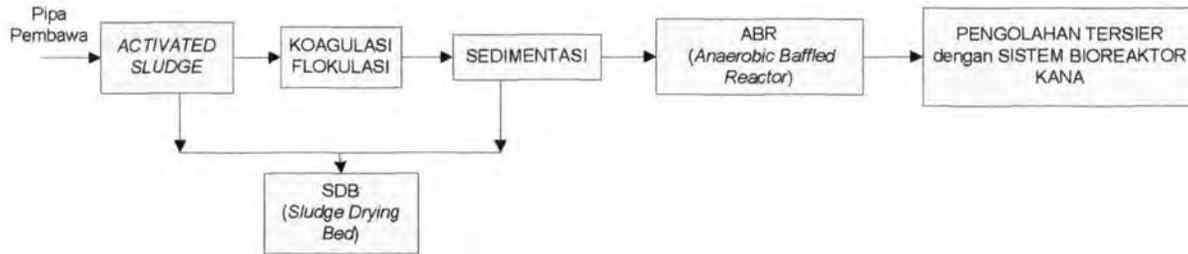
Berikut diagram alir dari ketiga alternatif pengolahan limbah pencelupan benang.



Gambar 4.23. Diagram Alir Pengolahan Alternatif I

Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif I

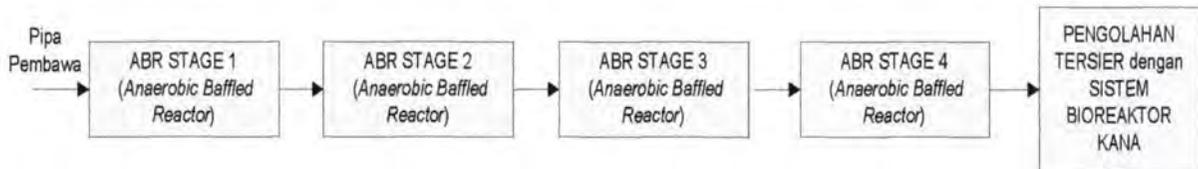
Parameter	Konsentrasi Awal Limbah (mg/L)	Unit Pengolahan							
		Oxydation Ditch		Sedimentasi		ABR (Anaerobic Baffled Reactor)		Bioreaktor KANA	
		Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)
COD	26.800	90%	2.680	50,75%	1.319,90	90%	131,99	70%	39,59
BOD	10.720	95%	536	50,75%	263,98	70%	79,19	86,20%	10,93
TSS	24.216	80%	4.843,2	96,09%	189,37	70%	56,81	84,59%	8,75



Gambar 4.24. Diagram Alir Pengolahan Alternatif II

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif II

Parameter	Konsentrasi Awal Limbah (mg/L)	Unit Pengolahan							
		Activated Sludge		Sedimentasi		ABR (Anaerobic Baffled Reactor)		Bioreaktor KANA	
		Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)
COD	26.800	85%	4.020	50,75%	1.979,85	90%	197,99	70%	59,39
BOD	10.720	90%	1.072	50,75%	527,96	85%	79,19	86,20%	10,93
TSS	24.216	80%	4.843,2	96,09%	189,37	70%	56,81	84,59%	8,75



Gambar 4.25. Diagram Alir Pengolahan Alternatif III

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pada Alternatif III

Parameter	Konsentrasi Awal Limbah (mg/L)	Unit Pengolahan									
		ABR Stage I		ABR Stage II		ABR Stage III		ABR Stage IV		Bioreaktor KANA	
		Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)	Efisiensi	Hasil Akhir (mg/L)
COD	26.800	80%	5.360,00	70%	1.608,00	70%	482,40	70%	144,72	70%	72,36
BOD	10.720	80%	2.144,00	70%	643,20	70%	192,96	70%	57,89	86,20%	22,61
TSS	24.216	72%	6.780,48	72%	1.898,53	72%	531,59	72%	148,85	84,59%	22,94



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Konsentrasi maksimum kandungan organik limbah pencelupan benang yang dapat diturunkan oleh sistem bioreaktor Kana (*Canna sp.*) adalah sebesar 1,5% sehingga karakteristik limbah menjadi :
 - ↓ BOD₅ : 160 mg/l
 - ↓ COD : 400 mg/l
 - ↓ TSS : 464 mg/l
 - ↓ Warna : Hitam pekat
 - ↓ pH : 9,5
 - ↓ Suhu : 30,5° C

Pada konsentrasi tersebut tanaman Kana masih dalam kondisi yang segar sampai pada akhir penentuan *Range Finding Test* (RFT) yang dilakukan dengan replikasi untuk masing-masing konsentrasi.

2. Kemampuan bioreaktor Kana dalam menyisihkan kandungan BOD₅, COD dan TSS dalam limbah pencelupan benang masih belum mencapai hasil yang optimum. Untuk BOD₅, efisiensi penyisihan terbesar mencapai 86,22% oleh tanaman uji yang menggunakan aerasi. Sedangkan efisiensi penyisihan COD terbesar mencapai 77,5% oleh tanaman uji yang menggunakan penambahan aerasi. Efisiensi penyisihan TSS terbesar mencapai 84,59% oleh tanaman uji menggunakan aerasi. Secara keseluruhan, tanaman uji dengan penambahan aerasi memiliki kemampuan efisiensi penyisihan polutan organik paling efektif dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan aerasi .
3. Ditinjau dari semua parameter penelitian, bioreaktor Kana yang menggunakan penambahan aerasi memiliki efisiensi

penyisihan yang lebih besar dibandingkan bioreaktor Kana non-aerasi.

4. Pada penelitian lanjutan untuk penambahan koagulan pada limbah pekat tanpa pengenceran melalui metode jar tes pada limbah sebelum masuk ke bioreaktor Kana, diperoleh efisiensi penyisihan COD dan TSS sebagai berikut :

✚ *Poly Aluminium Chloride (PAC)*

Dosis optimum terjadi pada penambahan PAC sebesar 60 mg/l. Efisiensi penyisihan COD sebesar 51,12% sehingga COD menjadi 13100 mg/l. Sedangkan untuk TSS, efisiensi mencapai 97,42% sehingga TSS menjadi 624 mg/l.

✚ *Aluminium sulfat (Tawas)*

Dosis optimum terjadi pada penambahan tawas sebesar 150 mg/l. Efisiensi penyisihan COD sebesar 50,75% sehingga COD menjadi 13200 mg/l. Sedangkan untuk TSS, efisiensi mencapai 96,09% sehingga TSS menjadi 948 mg/l.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang ada dapat disarankan sebagai berikut:

1. Adanya pengolahan pendahuluan sebelum limbah masuk ke sistem bioreaktor Kana. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kandungan polutan organik dalam limbah yang memiliki karakteristik awal BOD, COD dan TSS yang sangat tinggi sehingga efisiensi penyisihan bisa lebih optimum lagi. Alternatif pengolahan yang bisa dijadikan bahan penelitian selanjutnya berdasarkan perhitungan efisiensi BOD₅, COD dan TSS secara umum, yaitu menggunakan *Anaerob Baffled Reactor (ABR) 3 stage* kemudian masuk ke sistem bioreaktor Kana.

2. Penelitian lanjutan untuk menerapkan sistem bioreaktor Kana ini ke sistem kontinyu dengan debit yang efektif.
3. Penelitian lanjutan untuk membandingkan efisiensi penurunan parameter penelitian dengan usia tanaman yang berbeda yaitu usia tanaman yang mencapai masa berbunga dengan tanaman dengan usia muda pada sistem bioreaktor Kana.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Alaert, G dan S. S. Santika. 1987. **Metode Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.
- Anonim. 2007. *Canna.sp*. <http://www.plantesdusud.com/spip.php?article874>. (10/02/2008 1820 WIB)
- Anonim. 2008. *Canna sp*. [.http://persembahanku.files.wordpress.com/2007/05/lignin.jpg_files](http://persembahanku.files.wordpress.com/2007/05/lignin.jpg_files). (12/02/2008 19.32 WIB)
- Citrasari, V. 2004. **Penurunan Warna Reaktif dengan Pengolahan Kombinasi Koagulan PAC dan Membran Mikrofiltrasi**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Crites, R. dan Tchobanoglous, G. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management System*. Mc Graw-Hill. New York.
- Dwijoseputro, D. 1980. **Pengantar Fisiologi Tumbuhan**. Jakarta : PT.Gramedia.
- Eckenfelder, W. W. 1991. *Industrial Water Pollution Control, Third Edition*. Mc. Graw Hill International. Singapore.
- Haris, M. 2007. **Studi Kinerja Unit Pengolahan Air Limbah Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Pada Program Sanimas Di Mojokerto**. Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Herumurti, W. 2005. **Studi Penurunan Senyawa Nitrogen dan Fosfor Air Limbah domestik dengan menggunakan Sub Surface (SSF) constructed wetland (Studi kasus**

- di **Kampus Teknik Lingkungan ITS**). Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Iriawan, N dan Astuti, S. 2006. **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Khiatuddin, M. 2003. **Melestarikan Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa Buatan**. Gajah Mada University Pers. Yogyakarta.
- Kusuma, R.T. 2005. **Studi Penurunan Kandungan COD dan BOD₅ Air Limbah Domestik dengan Menggunakan Tanaman Kana (*Canna sp.*) dalam Sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (Studi Kasus Gedung Teknik Lingkungan ITS Surabaya)**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Mayangriani, T. 1997. **Studi Penurunan TSS, kekeruhan, dan MBAS air limbah domestik dengan menggunakan *Subsurface Constructed Wetland* dengan menggunakan Tanaman Kana – Studi Kasus di Kampus Teknik Lingkungan – ITS**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Metcalf and Eddy Inc. 1991. ***Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse***. McGraw Hill Series Water Resources and Environmental Engineering. McGraw Hill Book Co., New York.
- Moore, J. A. 1993. **Using *Constructed Wetlands* to Improve Water Quality**. <http://eesc.orst.edu/agcomwebfile/edmat/ec1408.pdf>. oregon . (10/02/2008 18.05 WIB)

- Novotny, Vladimir and Olem, Harvey. 1994. **Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution**. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Oktaria, J. 2005. **Penurunan Warna dan Kekeruhan Limbah Industri Pencelupan Benang Dengan Koagulasi Dua Tahap**. Tugas Akhir jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya
- Pancawardani, F. 2004. **Uji Tumbuhan *Heliconia Rostrata* dan *Cyperus Papyrus* dalam mereduksi COD dan TSS pada air limbah KM/WC dan kantin pusat ITS Surabaya**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Polprasert, C. 1989. **Organik Waste Recycling**. Environmental Technology, Bangkok: Thailand.
- Prihastri, E. 2006. **Laju Evapotranspirasi pada Penurunan Konsentrasi Cu^{2+} di Dalam Reaktor *Batch* dengan menggunakan marginal Emergent Plant (*Kana*, *Cattail*, *Cyperus*)**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Rosmiyana, I. 1997. **Penentuan Media Tanah sebagai Evapotransporasi Bed dengan Tanaman Kana dan Pacar Air untuk Pengolahan Air Limbah Domestik**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Surabaya
- Rukmana, R. 1997. **Bunga Kana**. Kanisius, Yogyakarta.
- Sawyer, C.N., P.L. McCarty and G.F. Parkin. 1994. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. Fifth Edition. New York: Mc Graw-Hill Book Company.

- Sugiharto. 1987. **Dasar – dasar Pengolahan Air Limbah**. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sukmawati, D. 2004. **Penurunan Warna Efluen limbah pabrik Kertas PT. Pakerin dengan Besi (III) Klorida dan Aluminium Sulfat**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. Surabaya
- Susanti, Eny. 1995. **Koagulasi–Flokulasi Untuk Menurunkan Warna Dengan Koagulan Poli Aluminium Chloride Pada Pengolahan Limbah Pencelupan Benang**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. Surabaya
- Suwariyanti, A. 2002. **Studi Literatur Penurunan Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) dalam Limbah Cair Dengan Memanfaatkan Tumbuhan Air**. Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Teristyowati, N. 2005. **Penurunan TSS, COD dan Warna Limbah Tekstil Menggunakan Adsorban Karbon Aktif Komersial dan Koagulan Aluminium Sulfat, Poli Aluminium Choride dan Gabungan Antara Keduanya**. Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Tricahya, C. 2007. **Studi Pemakaian Amoniak dan Nitrat Pada Sub Surface Flow Constructed Wetland Dengan Tanaman Kana (*Canna sp.*) Dalam Mengolah Limbah Lindi (*Leachate*)**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Utomo,W. H dan T. Islami M. S. 1995. **Hubungan Tanah, Air dan Tanaman**. Semarang : IKIP Semarang Press.

Wood, A. 1990. *Constructed Wetland for Wastewater Treatment : Engineering and Design Consideration*. Cooper and Findlater. Pergamon Press, U.K.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS PARAMETER

A. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) terlarut

1. Alat

- a) Erlenmeyer COD 250 ml.
- b) Pemanas listrik.
- c) Buret 25 ml.
- d) Pipet ukur 10 ml dan 25 ml.
- e) Gelas beker 250 ml.
- f) Pipet tetes.



2. Bahan

- a) Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$).
- b) Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat Peekat (H_2SO_4).
- c) Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4).
- d) Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,1 ml.
- e) Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin).

Pembuatan bahan /reagen yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
 - Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$.
 - Larutkan dalam labu ukur 1 L dengan aquadest sampai tanda batas.
- b) Larutan Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N.
 - Timbang 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$.
 - Larutkan 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ dan 8 ml H_2SO_4 pekat dalam 1000 ml aquadest.
- c) Larutan Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat Peekat (H_2SO_4).
 - Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 dalam 1000 ml H_2SO_4 pekat. Biarkan hingga 1 malam.

- d) Larutan indikator Feroin
- o Larutkan 1,485 gram orthopenantrolin dan 0,695 gram dalam 100 ml aquadest.

Standarisasi Larutan Ferro Amonium Sulfat 0,1 N:

- Pipet 2 ml larutan standart ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
- Diencerkan dengan aquadest sampai tanda volume \pm 20 ml.
- Tambahkan 8 ml H_2SO_4 pekat dan dinginkan.
- Tambahkan 3 tetes indikator feroin.
- Titrasi dengan Ferro Amonium Sulfat hingga warna menjadi merah-coklat.

$$\text{Normalisasi FAS} = \frac{\text{mL } K_2Cr_2O_7 \times \text{normaliti } K_2Cr_2O_7}{\text{mL FAS yang digunakan}}$$

3. Prosedur Analisis

- a) Masukkan 0,4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam erlenmeyer.
- b) Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml air aquadest ke dalam erlenmeyer.
- c) Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
- d) Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- e) Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- f) Turunkan erlenmeyer dari pemanas dan tunggu sampai dingin.
- g) Tambahkan 3-4 tetes larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,1 N hingga warna menjadi merah coklat.
- h) Titrasi dengan larutan FAS
- i) Catat volume titran.

Perhitungan:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(a-b) \times N \times 8000}{\text{mL sampel}}$$

Keterangan:

a = ml FAS titrasi blanko.

b = ml FAS titrasi sample.

N = Normalitas larutan FAS.

B. Analisis *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Untuk mengetahui besarnya kadar oksigen terlarut digunakan metoda titrasi dengan winkler sedangkan pengenceran melalui angka KMnO_4 .

Bahan:

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan magnesium sulfat
3. Larutan kalium klorida
4. Larutan feri klorida
5. Bubuk inhibitor nitrifikasi
6. Benih atau inokulum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 ml air
7. Larutan mangan sulfat
8. Larutan pereaksi oksigen
9. Indikator amilum 5%
10. Asam sulfat pekat
11. Larutan standar natrium tiosulfat 0,0125 N

Alat:

1. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
2. Drum atau ember untuk aerasi air pengencer
3. Botol winkler 300 mL dan 150 mL
4. Inkubator dengan suhu 20C
5. Labu ukur 500 mL
6. Pipet 10 mL

7. Gelas ukur 100 mL
8. Buret 25 mL
9. Erlenmeyer 250 mL

Prosedur percobaan:

A. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

1. Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter air
2. Tambahkan 1 mL larutan magnesium sulfat per liter air
3. Tambahkan 1 mL larutan kalium klorida per liter air
4. Tambahkan 1 mL larutan feri klorida per liter air
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
6. Aerasi minimal selama 2 jam
7. Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

B. Prosedur BOD

1. Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD₅ harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka KMnO₄, sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{angka KMnO}_4}{3}, \text{ dimana } P = \text{nilai pengenceran}$$

2. Prosedur analisis BOD dengan winkler

- a. Siapkan labu ukur 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu
- b. Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
- c. Tuangkan air dalam labu ukur ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah
- d. Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blangko sampai tumpah
- e. Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20C selama 5 hari

- f. Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
1. Tambahkan 1 mL larutan mangan sulfat
 2. Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
 3. Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara lalu balik-balikkan beberapa kali
 4. Biarkan gumpalan mengendap selama 10 menit
 5. Tambahkan 1 mL asam sulfat, tutup dan balik-balikkan
 6. Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 7. Tambahkan 3 tetes indikator amilum hingga warna biru
 8. Titrasi dengan natrium tiosulfat 0,0125 N hingga warna biru hilang
- g. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut
- h. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan persamaan sebagai berikut:

$$OT \text{ (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran}}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

C. Analisis pH

1. Alat
 - a) pH meter.
2. Bahan
 - a) Sampel air.

3. Prosedur Analisis

- a) pH meter hendaknya di kalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer sebelum digunakan untuk pengukuran pH dari suatu sampel air.
- b) Pada keadaan tidak dialiri listrik, jarum pH meter harus menunjukkan angka 7 kecuali dengan menggunakan pH meter sistem digital.

D. Analisis TSS (*Total Suspended Solid*)

1. Alat

- a) Oven untuk pemanasan 105°C.
- b) Desikator.
- c) Neraca analitik.
- d) Bejana hisap serta alat pompa vakum.
- e) Cawan Porselen.
- f) Kertas saring.
- g) Labu ukur.
- h) Pinset.
- i) Spatula.

2. Bahan

- a) Sampel Air

3. Prosedur Analisis

- a) Panaskan cawan porselen dan kertas saring pada oven 105°C selama 1jam.
- b) Dinginkan dalam desikator selama 15 menit, kemudian timbang kertas saring dengan neraca analitis (b gram).
- c) Sampel dikocok merata, kemudian dituangkan sebanyak 25 ml di atas filter yang telah dipasang pada *vacuum filter*.
- d) Saring sampel sampai kering dan airnya habis.

- e) Latakkan kertas saring pada cawan dan masukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
- f) Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
- g) Timbang kertas saring dengan neraca analitis (a gram).
- h) Hitung zat padat tersuspensi dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{mg/L zat padat total} = \frac{(a - b) \times 10^6}{c} \text{ mg/l}$$

Dimana : a = berat kertas saring + sampel (gram)

b = berat kertas saring kosong (gram)

c = sampel (ml)

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN DEBIT UDARA YANG DIHASILKAN AERATOR

Diketahui:

- Nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada temperatur air di dalam reaktor 30°C adalah 7,63 mg/L.
- Elevasi (tinggi) antara reaktor dengan kompresor adalah 1 m.
- Tekanan atmosfer adalah 760 mmHg.
- Debit udara yang dihasilkan oleh kompresor adalah 25 L/menit.
- Tekanan maksimum kompresor adalah 5 kgf/cm².g.
- Tekanan yang digunakan sebesar 2 kgf/cm².g.
- Kedalaman difuser dalam reaktor adalah 10 cm.

Persamaan untuk menghitung debit oksigen per jam adalah (Reynold, 1996):

$$N = 0,04233 \times Ga^{0,9} \times D^{0,67} \times (Cm - Cl) \times 1,02^{(T-20)} \times \alpha$$

Keterangan:

N = debit udara (kg O₂/h)

Ga = debit udara

D = kedalaman difuser dalam reaktor

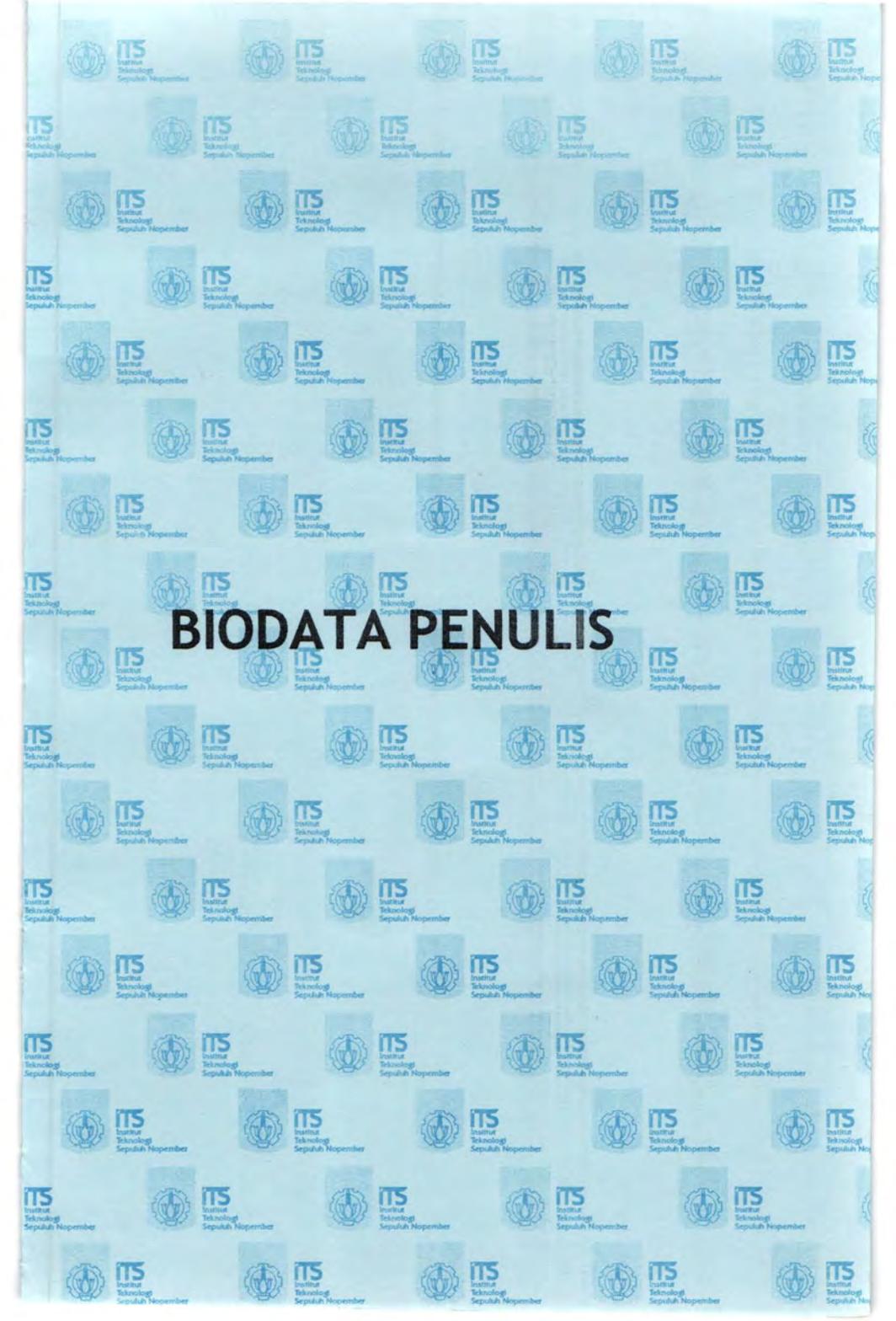
Cm = saturation DO pada mid-depth (mg/L)

Cl = operating DO (mg/L)

$\alpha = 0,75$

- $Cs = (7,63) \times (760/760) = 7,63$ mg/L
- DO saturation dalam reaktor (Cw) = $\beta \times Cs = 0,05 \times 7,63 = 7,25$ mg/L.
- 21% oksigen (O₂) dari 100 mol udara yang terkompresi yaitu 21 mol O₂.

- 5% yang ditransfer maka gas yang keluar = $21 \times (1 - 0,05) = 19,95 \text{ mol O}_2$
- % oksigen yang keluar = $19,95 \times ((19,95 + 79)/100) = 20,16\%$.
- $P_r = 0,834 \text{ kPa} + [101,37 \text{ kPa (1 atm)}] (760/760) = 102,204 \text{ kPa}$.
- $C_m = C_w \times ([P_r/203] + [O_2/42]) = 7,25 \times ([102/203] + [20,16/42]) = 7,12 \text{ mg/L}$.
- $N = 0,04233 \times (25)^{0,9} \times (0,15)^{0,67} \times (7,12 - 2) \times 1,02^{(28-20)} \times 0,75$
= 2,4 gram O_2 /jam



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Probolinggo, 16 September 1986, merupakan putri bungsu dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Tunas Harapan Probolinggo, SD Sukabumi 2 Probolinggo, SMPN 1 Probolinggo dan SMAN 1 Probolinggo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2004, Penulis diterima di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS & terdaftar dengan NRP. 3304.100.070

Di Jurusan Teknik Lingkungan ini penulis sempat aktif di kegiatan himpunan dan beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh Jurusan dan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan aktif sebagai Asisten Praktikum Kimia Lingkungan I (Kimling I).