



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

31006/H/07



RSC
628.357
Istc
P-1

2007

FINAL PROJECT - PL 1603

PHENOL REMOVAL OF PT XYZ INDUSTRI WASTE BY WATER LETTUCE (*PISTIA STRATIOTES*)

DINA TRISIANA ISKANDAR
NRP 3303 100 003

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10 - 8 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	228520

**PENYISIHAN FENOL PADA LIMBAH INDUSTRI DARI
PT XYZ DENGAN KAYU APU (*PISTIA STRATIOTES*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

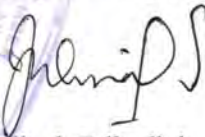
Oleh :

DINA TRISIANA ISKANDAR

NRP. 3303 100 003

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

NIP.130 409 016

**SURABAYA
AGUSTUS, 2007**

PHENOL REMOVAL OF PT XYZ INDUSTRIAL WASTE BY WATER LETTUCE (*PISTIA STRATIOTES*)

Name : Dina Trisiana Iskandar
NRP : 3303 100 003
Department : Environmental Engineering,
Faculty of Civil Engineering and Planning-
Institute of Technology Sepuluh Nopember,
Surabaya
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Abstract

Waste water containing phenol (hazardous waste) requires special treatment before it is discharged into river. It is found that physical, chemical and biological treatments are not effective and efficient so that a tertiary treatment. Phytoremediation by using water lettuce, is an example. The objective of this research is to find out how much phenol concentration can be removed by using biological reactor system of water lettuce. This research also analyzes and compares the effectiveness of phenol removal by using the system for two kinds of industrial waste, phenolic water and phenol synthetic waste.

This research uses two kinds of industrial waste water; phenol water and phenol synthetic waste with various concentrations: 2,14 mg/L, 1,07 mg/L and 0,53 mg/L. This research uses two test reactor and two kinds of control reactors; one is control reactor without water lettuce and the other is with lettuce but without phenol waste addition. This research is batch system for 30 days.

The research showed that the efficiency level of phenol and COD removal in biological reactor system of water lettuce in industrial waste ranges from 79,32 % to 94,88% and from 31,82 % to 72,92 % while in phenol synthetic waste ranges from 79,32 % to 95,58 % and from 45,83 % to 63,64 %. The efficiency of phenol removal by evaporation without microorganism activity in phenol synthetic waste in 6 days was 62,09 %. Therefore, it could be concluded that water lettuce bioreactor did not significantly remove phenol.

Keyword: Water lettuce, removal, phenol, and COD

PENYISIHAN FENOL PADA LIMBAH INDUSTRI DARI PT XYZ DENGAN KAYU APU (*PISTIA STRATIOTES*)

Nama Mahasiswa : Dina Trisiana Iskandar
NRP : 3303 100 003
Jurusan : Teknik Lingkungan,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Abstrak

Air limbah yang mengandung fenol (limbah B-3) memerlukan pengolahan khusus sebelum dibuang ke badan air. Pengolahan secara fisik, kimiawi dan biologis belum efektif dan efisien, sehingga diperlukan pengolahan tersier secara fitoremediasi dengan memanfaatkan kayu apu (*Pistia stratiotes*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi maksimum fenol yang mampu diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor kayu apu. Tujuan lain adalah menganalisis dan membandingkan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol dan COD pada limbah industri phenolic water dan limbah fenol buatan.

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis limbah yang digunakan adalah limbah industri phenolic water dan limbah fenol buatan dengan variasi konsentrasi fenol 2,14 mg/L 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L. Penelitian ini digunakan duplo reaktor uji, reaktor kontrol tanpa kayu apu dan reaktor kontrol tanpa penambahan limbah. Penelitian ini digunakan sistem batch selama 30 hari.

Hasil penelitian menunjukkan efisiensi sistem bioreaktor kayu apu dalam penyisihan konsentrasi fenol dan COD pada reaktor uji limbah industri *phenolic water* berkisar antara 79,32 % - 94,88 % dan 31,82 % - 72,92 %. Efisiensi sistem bioreaktor kayu apu dalam penyisihan konsentrasi fenol dan COD pada reaktor uji limbah fenol buatan berkisar antara 79,32 % - 95,58 % dan 45,83 % - 63,64 %. Sedangkan hasil penyisihan konsentrasi fenol pada limbah buatan 2,14 mg/L secara evaporasi tanpa aktivitas mikroorganisme sebesar 62,09 % selama 6 hari. Hal ini menunjukkan bahwa reaktor kayu apu tidak memiliki kemampuan penyisihan fenol yang cukup signifikan.

Kata kunci: Kayu apu, penyisihan, fenol, dan COD



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa mencurahkan rahmad dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul “Penyisihan Fenol pada Limbah Industri dari PT XYZ dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis berkehendak menyampaikan ucapan terima kasih sedalamnya kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi serta arahan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Hariwiko I., MEng, Ibu Harmin S., ST, MT dan Ibu Ipung Fitri, ST, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan terhadap laporan Tugas Akhir ini.
3. Kegiatan Hibah Penelitian Program Hibah Kompetisi A2 Tahun 2007 yang telah mendukung penelitian ini.
4. Bapak Ir. M. Razif, MM selaku Dosen Wali dan Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan.
5. Bapak / Ibu Dosen pengajar beserta segenap karyawan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP - ITS.
6. Bapak dan Ibuku tersayang, Mas Alex, Mbak Linda, Mbak Pudji, Mas Bagus dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan do'a serta motivasi.
7. Rekan-rekan L-21 terutama Fitri, Fatin, Ika, Ochi, Dita, Ina, Hani, Fanti, Udin, Haqi, Aulia, dan Shiro atas kekompakan dan kerjasamanya.
8. Kholis, atas do'a dan dukungan yang tak pernah henti.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharap adanya kritik dan saran yang membangun. Besar harapan penulis, agar Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan khususnya bidang limbah B-3. Terima Kasih.

Penulis

DAFTAR ISI

2.8. Kebutuhan Unsur Hara.....	19
2.8.1. Kebutuhan Unsur Hara oleh Tumbuhan.....	19
2.8.2. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air.....	20
2.8.3. Kebutuhan Air.....	21
2.9. Fotosintesis.....	22
2.10. Evapotranspirasi.....	22
2.11. Laju Reaksi.....	23

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Kerangka Penelitian.....	25
3.2. Tahapan Penelitian.....	25
3.2.1. Studi Literatur.....	27
3.2.2. Persiapan Alat.....	28
3.2.3. Persiapan Bahan.....	29
3.2.4. Penelitian Pendahuluan.....	31
3.2.5. Pelaksanaan Penelitian.....	32
3.2.6. Analisis Data dan Pembahasan.....	37
3.2.7. Kesimpulan.....	38

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah Awal.....	39
4.2. Penelitian Pendahuluan.....	41
4.2.1. Aklimatisasi.....	41
4.2.2. Penentuan Konsentrasi Fenol Maksimum pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	42
4.3. Pelaksanaan Penelitian.....	44
4.3.1. Aklimatisasi.....	44
4.3.2. Penyisihan Fenol dengan Memanfaatkan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	45
4.3.2.1. Penyisihan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>).....	46
4.3.2.1.1. Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	55
4.3.2.2. Penyisihan Fenol pada Limbah Fenol Buatan	60

DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Ruang Lingkup.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
3.1. Fenol.....	5
3.2. Mekanisme Degradasi Fenol.....	7
2.2.1. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Biologis.....	7
2.2.2. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi.....	9
2.2.2.1. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Oksidasi Kalium Permanganat(KMnO ₄).....	9
2.2.2.2. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Ozonisasi	10
2.3. Proses Pembentukan <i>Phenolic Water</i> di PT XYZ...	11
2.4. Chemical Oxygen Demand.....	12
2.5. Fitoremediasi.....	13
2.6. Kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	15
2.6.1. Klasifikasi Kayu Apu.....	15
2.6.2. Morfologi Kayu Apu.....	16
2.6.3. Perkembangan Kayu Apu.....	17
2.6.4. Manfaat Kayu Apu.....	17
2.7. Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik Oleh Tumbuhan Air.....	18

4.3.2.2.1.	Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan.....	65
4.3.2.2.2.	Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan secara Evaporasi.....	71
4.3.2.3.	Perbandingan Efisiensi Penurunan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan	72
4.3.3.	Penyisihan COD dengan Memanfaatkan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	74
4.3.3.1.	Penyisihan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	74
4.3.3.2.	Penyisihan COD pada Limbah Fvenol Buatan	82
4.3.3.3.	Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan.....	91
4.3.4.	Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	93
4.3.4.1.	Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	93
4.3.4.2.	Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) pada Limbah Fenol Buatan	96
4.3.5.	Pengukuran pH.....	98
4.3.5.1.	Pengukuran pH pada Limbah Industri <i>Phenoic Water</i>	99
4.3.5.2.	Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan	102
4.3.6.	Pengukuran Temperatur.....	105
4.3.6.1.	Pengukuran Temperatur.pada Limbah Industri <i>Phenoic Water</i>	106
4.3.6.2.	Pengukuran Temperatur. pada Limbah Fenol Buatan.....	109
4.4.	Alternatif Pengolahan Limbah Fenol.....	112



BAB V. KESIMPULAN

Kesimpulan..... 11

DAFTAR PUSTAKA..... 117

LAMPIRAN A..... 121

LAMPIRAN B..... 127

LAMPIRAN C..... 129

STI

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan.....	39
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Penentuan Konsentrasi Maksimum pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> ...	43
Tabel 4.3 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	46
Tabel 4.4 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	49
Tabel 4.5 Hasil Penelitian Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> di Akhir Pengamatan (hari ke-18).....	51
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l.....	55
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/L.....	56
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l.....	56
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l.....	58
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/L.....	58
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l.....	59
Tabel 4.12 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan.....	60

Tabel 4.13 Hasil Penelitian Efisiensi Kemampuan Kayu Apu dalam Menurunkan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan.....	63
Tabel 4.14 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l.....	65
Tabel 4.15 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l.....	66
Tabel 4.16 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l.....	67
Tabel 4.17 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l	68
Tabel 4.18 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l	69
Tabel 4.19 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l	69
Tabel 4.20 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l.....	71
Tabel 4.21 Hasil Penelitian Perbandingan Efisiensi Penurunan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)	72
Tabel 4.22 Hasil Penelitian Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> (mg/l).....	75
Tabel 4.23 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	78
Tabel 4.24 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan (mg/L).....	81
Tabel 4.25 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan (%).....	84
Tabel 4.26 Hasil Penelitian Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)	86

Tabel 4.27 Hasil Penelitian Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-30).....	89
Tabel 4.28 Hasil Pengukuran pH Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	96
Tabel 4.29 Hasil Pengukuran pH Limbah Fenol Buatan.....	100
Tabel 4.30 Hasil Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	104
Tabel 4.31 Hasil Pengukuran Temperatur Limbah Fenol Buatan.....	107
Tabel B.1 Hasil Penelitian Pencarian Panjang Gelombang.....	125
Tabel B.2 Hasil Kurva Kalibrasi Fenol I (24 April 2007).....	126
Tabel B.3 Hasil Kurva Kalibrasi II (30 April 2007).....	127
Tabel B.4 Hasil Kurva Kalibrasi III (7 Mei 2007).....	128
Tabel B.5 Hasil Kurva Kalibrasi IV (18 Juni 2007).....	129
Tabel C.1 Pengukuran Konsentrasi Fenol.....	131
Tabel C.2 Pengukuran COD.....	133
Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu.....	135
Tabel C.4 Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu.....	141
Tabel D.1 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	147
Tabel D.2 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	148
Tabel D.3 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan.....	149
Tabel D.4 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan.....	150
Tabel D.5 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	151
Tabel D.6 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	152
Tabel D.7 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan.....	153



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rumus Bangun Fenol.....	5
Gambar 2.2 Mekanisme Degradasi Fenol Secara Biologis.....	8
Gambar 2.3 Mekanisme Degradasi Fenol dengan Bakteri <i>Pseudomonas Putida</i>	9
Gambar 2.4 Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi....	10
Gambar 2.4 Bak Penampung <i>Phenolic Water</i>	12
Gambar 2.5 Kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	18
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Reaktor Penelitian.....	28
Gambar 3.3 Susunan Reaktor Penelitian.....	34
Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Limbah Awal.....	40
Gambar 4.2 Habitat Kayu Apu di Saluran Semolowaru.....	42
Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	44
Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Kayu Apu pada Awal Aklimatisasi.....	45
Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Kayu Apu pada Akhir Aklimatisasi.....	45
Gambar 4.6 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,14 mg/l.....	47
Gambar 4.7 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 1,07 mg/l.....	48
Gambar 4.8 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 0,53 mg/l.....	48
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,14 mg/l.....	49
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 1,07 mg/l.....	50

Gambar 4.11	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 0,53 mg/l.....	50
Gambar 4.12	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/L....	52
Gambar 4.13	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/L....	52
Gambar 4.14	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/L....	53
Gambar 4.15	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l.....	55
Gambar 4.16	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/l.....	56
Gambar 4.17	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l.....	57
Gambar 4.18	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l.....	58
Gambar 4.19	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/l.....	59
Gambar 4.20	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l.....	59
Gambar 4.21	Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/l....	62
Gambar 4.22	Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 1,07 mg/l....	62

Gambar 4.23	Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 0,53 mg/l...	62
Gambar 4.24	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l.....	63
Gambar 4.25	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 1,07 mg/l.....	64
Gambar 4.26	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 0,53 mg/l.....	64
Gambar 4.27	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l....	66
Gambar 4.28	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l....	66
Gambar 4.29	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l....	67
Gambar 4.30	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l.....	68
Gambar 4.31	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l.....	69
Gambar 4.32	Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l.....	70
Gambar 4.33	Grafik Penurunan Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/l....	71
Gambar 4.34	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/l.....	71
Gambar 4.35	Grafik Perbandingan Efisiensi Penurunan Fenol pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18).....	73

Gambar 4.36	Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 2,14 mg/l....	77
Gambar 4.37	Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 1,07 mg/l....	77
Gambar 4.38	Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 0,53 mg/l....	77
Gambar 4.39	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 2,14 mg/l.....	79
Gambar 4.40	Grafik Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 1,07 mg/l.....	79
Gambar 4.41	Grafik Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi Fenol 0,53 mg/l.....	80
Gambar 4.42	Grafik Penurunan COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 2,14 mg/l.....	83
Gambar 4.43	Grafik Penurunan COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 1,07 mg/l.....	83
Gambar 4.44	Grafik Penurunan COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 0,53 mg/l.....	83
Gambar 4.45	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 2,14 mg/l.....	85
Gambar 4.46	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 1,07 mg/l.....	85
Gambar 4.47	Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 0,53 mg/l.....	85
Gambar 4.48	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L.....	87

Gambar 4.49	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L.....	87
Gambar 4.50	Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 0,53mg/L.....	88
Gambar 4.51	Grafik Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18).....	89
Gambar 4.52	Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Tanpa Penambahan Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	91
Gambar 4.53	Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	91
Gambar 4.54	Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 2,14 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	91
Gambar 4.55	Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	92
Gambar 4.56	Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 1,07 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	92
Gambar 4.57	Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	92
Gambar 4.58	Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> 0,53 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	93
Gambar 4.59	Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Tanpa Penambahan Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	93

Gambar 4.60 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Ayu Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	94
Gambar 4.61 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/l pada Hari ke-0, 6 dan 18.....	94
Gambar 4.62 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Ayu Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	94
Gambar 4.63 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	95
Gambar 4.64 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Ayu Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l pada Hari ke-0, 18 dan 30.....	95
Gambar 4.65 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/l pada Hari ke-0, 6 dan 18.....	95
Gambar 4.66 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 2,14 mg/l..	98
Gambar 4.67 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 1,07 mg/l..	98
Gambar 4.68 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 0,53 mg/l..	99
Gambar 4.69 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 2,14 mg/l.....	102
Gambar 4.70 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 1,07 mg/l.....	102
Gambar 4.71 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 0,53 mg/l.....	103
Gambar 4.72 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 2,14 mg/l.....	106

Gambar 4.73 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 1,07 mg/l.....	106
Gambar 4.74 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Konsentrasi 0,53 mg/l.....	106
Gambar 4.75 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 2,14 mg/l.....	108
Gambar 4.76 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 1,07 mg/l....	109
Gambar 4.77 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 0,53 mg/l.....	109
Gambar B.1 Kurva Kalibrasi Fenol I.....	126
Gambar B.2 Kurva Kalibrasi Fenol II.....	127
Gambar B.3 Kurva Kalibrasi Fenol III.....	128
Gambar B.4 Kurva Kalibrasi Fenol IV.....	129



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk berkorelasi terhadap semakin meningkatnya pertumbuhan industri sebagai upaya pemenuhan kebutuhan manusia yang semakin kompleks. Dalam usaha pemenuhan kebutuhan konsumen, industri berupaya meningkatkan hasil produksi namun belum memberikan perhatian maksimal terhadap limbah yang dihasilkan dari sisa produksi, sehingga limbah yang dihasilkan masih bersifat membahayakan ekosistem lmaupun organisme di dalamnya.

Limbah yang mengandung senyawa fenol merupakan limbah B-3 dapat menimbulkan bau tidak sedap, bersifat racun dan korosif terhadap kulit (iritasi), menyebabkan gangguan kesehatan manusia dan kematian pada organisme di perairan dengan nilai konsentrasi tertentu. Limbah ini berasal dari industri yang menggunakan fenol sebagai bahan baku, seperti industri migas, perekat, kayu lapis, farmasi, cat, tekstil, keramik dan plastik. Selain itu, limbah fenol juga berasal dari domestik, seperti sisa pembersih lantai (desinfektan) dan pembasmi rumput liar.

Menurut Keputusan Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri menetapkan konsentrasi maksimum fenol pada limbah industri sebesar 1 mg/L dan menurut Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air menetapkan konsentrasi fenol pada baku mutu air maksimum 1 µg/l, sehingga diperlukan adanya pengolahan limbah fenol sebelum di buang ke badan air. Pengolahan fenol pada limbah industri secara fisik dan kimiawi memiliki kendala biaya yang cukup mahal, sedangkan pengolahan secara biologis masih belum memenuhi baku mutu. Dalam memenuhi baku mutu tersebut, diperlukan adanya alternatif pengolahan tersier limbah fenol secara fitoremediasi yang mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya tinggi. Pengolahan fenol secara fitoremediasi

dengan memanfaatkan sistem bioreaktor tumbuhan air dimungkinkan karena fenol merupakan senyawa karbon berbentuk aromatik dengan gugus hidroksil (-OH) sehingga dapat mudah diuraikan oleh mikroorganisme. Pada sistem bioreaktor, tumbuhan menyerap unsur hara yang telah diuraikan mikroorganisme (Khaituddin, 2003). Selain itu Sugiharto (1987) menyatakan bahwa konsentrasi fenol pada limbah industri maksimum 500 mg/L masih dapat dioksidasi melalui proses biologis.

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tumbuhan yang terapung di atas permukaan air (*Floating Aquatic Plant*) yang telah banyak dikenal dalam proses fitoremediasi. Kayu apu banyak ditemukan di kanal, danau, sungai, penampungan air, sawah, pada air yang bergerak pelan atau menggenang di daerah tropis. Berdasarkan penelitian sebelumnya menyebutkan kayu apu dapat tumbuh dengan baik dalam air buangan dan dapat menurunkan kandungan pencemar dalam air limbah sampai dengan 90% (Sari, 1999 dan Damayanti, 2000). Pemanfaatan kayu apu pada pengolahan air limbah dapat mencapai prosentase penurunan konsentrasi COD sebesar 64,7%; N-total sebesar 72,3% dan P-total sebesar 69,3% (Sari, 1999). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menyebutkan bahwa pemanfaatan kayu apu dapat menurunkan kandungan logam berat Cd dalam air limbah sebesar 96,73% selama waktu tinggal 6 hari (Priyanto, 2007). Dengan demikian, diperlukan adanya penelitian mengenai kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kandungan fenol dalam limbah industri PT XYZ yang berupa *phenolic water*.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi maksimum fenol yang mampu diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor kayu apu.

2. Berapa besar kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kadar fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ dan limbah fenol buatan dengan konsentrasi yang bervariasi.
3. Berapa besar kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kandungan fenol dan COD pada limbah *phenolic water* dibandingkan limbah fenol buatan.

1.3. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berskala laboratorium, dilakukan di ruang kaca dengan menggunakan sistem batch dan sumber cahaya alami (sinar matahari).
2. Jenis tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu apu (*Pistia stratiotes*).
3. Air limbah yang digunakan adalah limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ dan limbah fenol buatan.
4. Dilakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan konsentrasi awal maksimum pengadaptasian kayu apu.
5. Variasi yang dilakukan adalah:
 - a. Variasi jenis limbah, yaitu limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ.
 - b. Variasi konsentrasi limbah.
6. Parameter utama yang diteliti adalah:
 - a. % removal kandungan fenol dalam limbah.
 - b. COD
 - c. pH
 - d. Temperatur
7. Reaktor uji yang digunakan adalah reaktor plastik berbentuk silinder dengan diameter ± 30 cm dan tinggi ± 30 cm
8. Adanya kontrol berupa sistem bioreaktor dengan penambahan limbah fenol tanpa kayu apu.
9. Penelitian dilakukan selama 30 hari pada masing-masing variasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi maksimum fenol yang mampu diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor kayu apu.
2. Menentukan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kadar fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ dan limbah fenol buatan dengan konsentrasi yang bervariasi.
3. Membandingkan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kandungan fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ dan limbah fenol buatan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini:

1. Dengan diketahuinya tingkat kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kadar fenol maka hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk aplikasi pengolahan limbah industri secara alamiah.
2. Penggunaan sistem bioreaktor kayu apu sebagai bioasorben limbah fenol organik dapat dijadikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

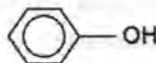
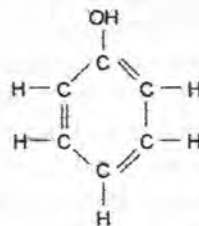
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenol

Fenol atau asam karbolat atau benzenol merupakan senyawa aromatik, turunan benzene dengan gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin benzene. Fenol merupakan salah satu senyawa karbon yang menurut ikatannya termasuk senyawa aromatik. Senyawa karbon sendiri menurut bentuk ikatan karbonnya terdiri dari alifatik dan siklik. Alifatik merupakan ikatan karbon yang lurus sedangkan siklik berbentuk melingkar. Rumus kimia dan rumus bangun fenol adalah sebagai berikut:

Rumus kimia : C_6H_5OH

Rumus bangun : $-C=C(OH)-$ atau



Gambar 2.1 Rumus Bangun Fenol
(Sumber: Fessenden dan Fessenden, 1986)

Dalam keadaan murni (*pure state*), fenol adalah zat kristal solid yang tidak berwarna dengan bau yang khas. Fenol bersifat higroskopis dengan titik leleh $43^{\circ}C$ dan mempunyai titik didih $181,7^{\circ}C$. Fenol memiliki berat molekul 94,1 gram/mol. Fenol larut dalam pelarut organik seperti metanol, etanol, dan air. Fenol dapat larut dalam alkana dengan perbandingan 1:70. Sedangkan dapat larut dalam air dengan perbandingan 1:15 dengan kelarutan terbatas, yakni 8,3 gram/100 ml. Fenol memiliki sifat yang cenderung asam,

dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Pengeluaran ion tersebut menjadikan anion fenoksida ($C_6H_5O^-$) yang dapat dilarutkan dalam air. Fenol terionisasi menjadi H^+ dengan tingkat tertentu ($K_A=1,2 \times 10^{-10}$), dan dalam konsentrasi ini cukup beracun untuk bakteri. Secara umum fenol merupakan racun protoplastik dan bersifat racun terhadap segala jenis sel. Fenol dengan konsentrasi rendah akan mendenaturasi protein sedangkan fenol dengan konsentrasi tinggi akan mengendapkan protein. Fenol sangat beracun, apabila terpapar dalam jumlah sedikit saja dapat menyebabkan kegagalan sirkulasi darah dan kematian akibat kegagalan pernapasan.

Fenol digunakan secara luas sebagai desinfektan (*germicide*) dan antiseptik dengan komponen utama *trichlorophenol* serta berperan dalam pembuatan obat-obatan (bagian dari produksi aspirin, pembasmi rumput liar, dan lainnya). Fenol yang terkonsentrasi dapat mengakibatkan pembakaran kimiawi pada kulit yang terbuka (Sawyer, McCarty and Parkin, 1990). Fenol didapatkan melalui oksidasi sebagian pada benzena atau asam benzoat dengan proses *raschig*. Fenol juga dapat diperoleh sebagai hasil dari oksidasi batu bara. Fenol digunakan secara luas pada industri sintetik (produk organik sintetik), khususnya fenol tipe resin. Selain itu fenol banyak dijumpai sebagai limbah industri batu bara (tar batu bara) dan industri minyak.

Berdasarkan prioritas limbah beracun yang ditetapkan oleh EPA disebutkan bahwa fenol mempunyai karakteristik pada konsentrasi rendah dapat mencemari perairan, mempunyai rasa tidak sedap, sulit untuk dihilangkan pada proses pengolahan air minum secara konvensional serta dapat memungkinkan terjadinya karsinogenik. Sumber limbah fenol alamiah berasal dari bahan bakar fosil, limbah domestik, pembersihan oli, destilasi tar, industri manufaktur plastik dan herbisida dan keseluruhan yang mengandung senyawa fenol (Tedder dan Pohland, 1989).

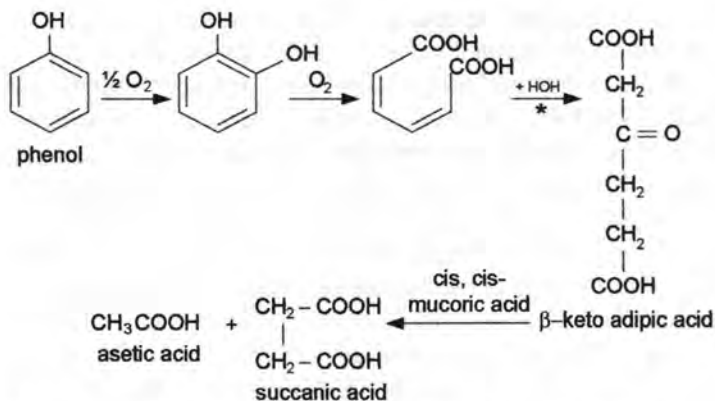
Martin dan Johnson (1987) menyebutkan bahwa pengolahan tersier limbah fenol secara (*tertiary treatment*) berupa adsorpsi karbon aktif, *ion exchange*, *gas stripping*, dan *solvent extraction*. Agar mencapai hasil yang maksimal, pengolahan tersier limbah fenol harus dilakukan setelah adanya pengolahan secara biologis (*secondary treatment*). Berdasarkan peraturan *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA) tentang pengolahan fenol sebagai limbah cair dengan tingkat efisiensi sebagai berikut: Pengolahan sedimentasi dengan penambahan polimer (14%), dengan penambahan lime polimer (18%) dan dengan penambahan alum (86%). Pengolahan *gas flotation* dengan penambahan *gas flotation* (51%), dengan penambahan CaCl_2 dan polimer (57%) dan dengan penambahan polimer (36%). Pengolahan fenol dengan filtrasi (17%), *Activated Sludge* (98%), *Aerated Lagoons* (71%), *Solvent Extraction* (80%), *Granular* (50%), *Powder Carbon with Sludge* (83%) dan *Reverse Osmosis* (25%). Sedangkan pengolahan yang dilakukan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) di Amerika Serikat tahun 1980 dan 1981, yaitu pengolahan sekunder berupa *Trickling Filter* (91%), *Lagoon* (47%), *Rotating Biological Contactor* (99%), *Infiltration Percolation* (99%) dan pengolahan tersier (98%).

2.2. Mekanisme Degradasi Fenol

2.2.1. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Biologis

Senyawa fenol dapat didegradasi karena merupakan senyawa organik dengan gugus aromatik dan gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin benzene sehingga potensial untuk didegradasi. Bakteri yang berperan mendegradasi senyawa fenol *Pseudomonas sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Mycoplana sp.* dan *Flawbacterium peregillum* mempunyai kemampuan dalam mendegradasi senyawa aromatik yang akan dimetabolisme menjadi bentuk catechol (Rothmel, 1990). Selain bakteri, jamur juga dapat memanfaatkan fenol sebagai

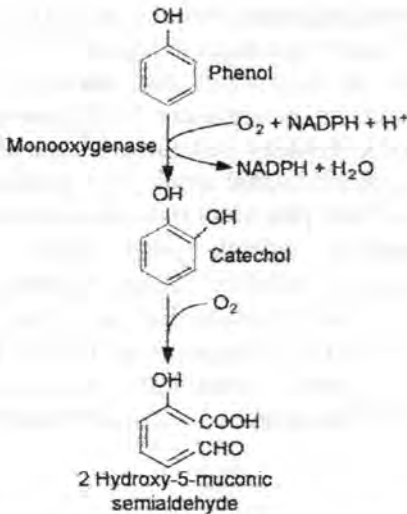
sumber karbon dan energi, antara lain jamur *Trichosporon cutaneum* dan *Candida tropicalis* (Neujahr, 1970 dalam Gerrard, 2006). Mekanisme degradasi fenol secara biologis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Keterangan: * = (+) mucodactone and β -keto adipic enol lactone

Gambar 2.2 Mekanisme Degradasi Fenol Secara Biologis
(Sumber: Conway dan Ross, 1980)

Pseudomonas putida merupakan spesies bakteri *Pseudomonas* yang mempunyai kemampuan dalam mendegradasi senyawa fenol sebagai sumber energi (Bayly, 1973 dalam Gerrard, 2006). Mekanisme degradasi senyawa fenol dengan bakteri *Pseudomonas putida* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

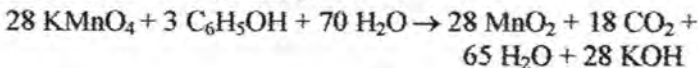


Gambar 2.3 Mekanisme Degradasi Phenol dengan Bakteri *Pseudomonas putida*
(Sumber: Soez, 1991 dalam Cookson, 1995)

2.2.2. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi

2.2.2.1. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Oksidasi Kalium Permanganat (KMnO₄)

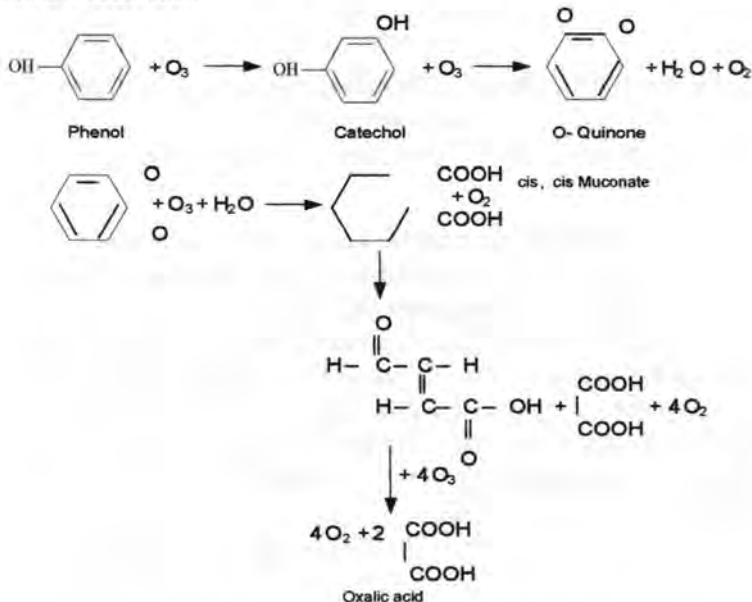
Fenol merupakan senyawa organik yang dapat didegradasi dengan oksidasi untuk mematahkan rantai C-nya yang panjang menjadi senyawa yang lebih sederhana. Salah satu oksidator yang dapat digunakan adalah oksidator kuat Kalium Permanganat (KMnO₄). Berikut merupakan reaksi oksidasi fenol oleh KMnO₄:



Produk samping MnO₂ dapat dihilangkan dengan mekanisme pengendapan atau filtrasi. Kecepatan reaksi dipengaruhi oleh pH dari larutan (Hariyono, 1998)

2.2.2.2. Mekanisme Degradasi Fenol Secara Ozonisasi

Selain itu fenol juga dapat didegradasi secara kimiawi dengan ozonisasi. Aplikasi ozon (O_3) untuk mengoksidasi limbah beracun dengan penggunaan katalis sinar UV atau H_2O_2 . Akan tetapi kelemahan penggunaan cara ozonisasi ini adalah biaya yang terlalu mahal untuk skala pengolahan yang kecil. Berdasarkan hasil penelitian menyatakan bahwa tingkat keefektivan ozonisasi terletak pada sistem injeksi ke kontaminan. Sebelum dilakukan injeksi, sebaiknya struktur kontaminan harus telah terpecah dari strukturnya sehingga injeksi ozon dapat berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan ozon mempunyai tendensi yang kuat untuk lepas secara vertikal. Berikut ini merupakan mekanisme degradasi fenol secara ozonisasi:



Gambar 2.4 Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi
(Sumber: La Grega, Buckingham dan Evans, 2001)

2.3. Proses Pembentukan *Phenolic Water* di PT XYZ

Tingginya kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) bagi industri dan rumah tangga, menyebabkan pemerintah mengeluarkan kebijakan penghematan BBM dan melakukan pemanfaatan energi alternatif. Industri PT XYZ merupakan industri yang menerapkan *Clean Coal Technology (Gasifikasi)*, yaitu teknologi gasifikasi batubara sebagai energi alternatif agar tetap memenuhi kebutuhan produksinya ketika suplai pasokan energi BBM dan gas alam Negara mengalami penurunan. Latar belakang penggunaan gasifikasi batubara ini karena Indonesia memiliki cadangan batubara berlimpah, harga yang relatif murah dan teknologi yang ada telah siap diaplikasikan. Kelemahan teknologi gasifikasi batubara ini adalah penggunaan batubara tidak semudah penggunaan energi BBM dan gas alam. Selain itu teknologi ini menghasilkan limbah fenol, berupa abu, emisi gas (asap, SO_x , CO_2 , partikulat), *phenolic water*, tar dan *bottom ash*.

Penggunaan teknologi *Clean Coal Gasifier* sebesar 40 ton/hari menghasilkan limbah *phenolic water* sebesar 4 m³/hari. Limbah *phenolic water* ini menjadi permasalahan besar di PT XYZ karena pengolahan *phenolic water* secara biologis dan kimiawi belum menunjukkan tingkat removal yang baik. Pada penelitian intern PT XYZ mengenai pengolahan secara biologis menunjukkan bahwa banyak bakteri yang seharusnya digunakan untuk mendegradasi menjadi mati, karena tingginya konsentrasi fenol dan tercampurnya minyak pada limbah tersebut, sehingga konsentrasi fenol melebihi baku mutu lingkungan dan tidak dapat dibuang secara langsung ke badan air (sungai). Selain itu penelitian pengolahan limbah *phenolic water* secara kimiawi juga telah dilakukan PT XYZ, tetapi terhalang kendala biaya yang mahal. Saat ini limbah *phenolic water* hanya dapat ditampung dalam bak penampung karena belum adanya teknologi pengolahan yang efektif dan efisien.



Gambar 2.5 Bak Penampung *Phenolic Water*
(Sumber: Dokumen Pribadi PT XYZ)

2.4. Chemical Oxygen Demand (COD)

Menurut Alaerts dan Santika (1987), Chemical Oxygen Demand. (COD) atau Kebutuhan oksigen Kimiawi (KOK) adalah jumlah oksigen (mg/L) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air, dimana pengoksidasi Kalium Bikromat ($K_2Cr_2O_7$) digunakan sebagai sumber oksigen. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Tidak semua zat-zat organik dalam air buangan maupun air permukaan dapat dioksidasikan melalui analisis COD.

Hasil pengukuran COD biasanya lebih tinggi daripada pengukuran BOD_5 karena sejumlah bahan organik yang resisten/tahan terhadap oksidasi mikrobial yang tidak terukur pada analisis BOD_5 akan teroksidasi secara kimiawi dan terukur pada analisis COD. Zat-zat yang dapat dioksidasikan oleh analisis COD adalah: zat organik yang *biodegradable*, selulosa, N organik yang *biodegradable*, N organik yang *non biodegradable* dan hidrokarbon aromatik.

2.5. Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata *phyto* (asal kata Yunani *phyton*) berarti tumbuhan/tanaman (*plant*), dan kata *remediation* (asal kata Latin *remediare*) berarti memperbaiki/mensembuhkan atau membersihkan sesuatu. Dengan demikian definisi fitoremediasi adalah suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/limbah fenol) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi. Menurut Joner (2003), fitoremediasi lebih efektif untuk meremediasi limbah fenol organik dengan memineralisasi menjadi senyawa yang tidak toksik. Fungsi fitoremediasi adalah menyerap dan mengakumulasi zat berbahaya, menurunkan konsentrasi dan merubah sifat keracunan zat pencemar, menstabilisasikan zat pencemar di sekitar akar tanaman dan mengaktifkan mikroorganisme di sekitar akar tanaman untuk mereduksi dan mengurangi sifat racun kontaminan

Berdasarkan klasifikasi proses dalam fitoremediasi US EPA (1999, 2005) dan ITRC (2001) adalah sebagai berikut:

1. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*.
2. *Rhizofiltration* (rhizo=akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar. Proses ini telah dibuktikan dengan percobaan menanam bunga matahari pada kolam mengandung zat radio aktif di Chernobyl Ukraina.
3. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil)

pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.

4. Rhizodegradation (*enhanced rhizosphere biodegradation* atau *planted-assisted bioremediation*), yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroorganisme yang berada di sekitar akar tumbuhan.
5. Phytodegradation (*phytotransformation*) yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.
6. Phytovolatilization yaitu proses penarikan dan transpirasi zat kontaminan dalam yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer oleh tumbuhan.

Keuntungan fitoremediasi antara lain tidak diperlukan peralatan yang spesifik, efek jangka panjang yang ditimbulkan dari metode ini hampir tidak ada, biaya relatif murah dan ramah lingkungan. Sedangkan kerugiannya, yaitu hanya dapat diterapkan pada kondisi alam yang cocok dengan tanaman yang dipergunakan, jangkauan akar terbatas dan konsentrasi kontaminan yang akan direduksi terbatas sesuai kemampuan tumbuhan.

Fitoremediasi adalah suatu teknologi yang mengkombinasikan kemampuan tumbuhan dan sekelompok mikroba dalam mendegradasi, mengangkut, menonaktifkan atau mengimobilisasi senyawa toksik di tanah. Tumbuhan secara langsung mengumpulkan (*phytoaccumulation*) dan mempergunakan polutan dalam metabolismenya (*phytodegradation*). Bioremediasi *in-situ* terjadi pada sistem

perakaran tanaman (rhizodegradation). Tumbuhan menyediakan perakaran sebagai tempat hidup mikroba. Fitoremediasi bertujuan dalam membersihkan lahan yang tercemar larutan kloinasi, campuran BTEX, fenol dan PAHs. (Harvey,2002 dan Lin, 1998 dalam Truu, 2003)

2.6. Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

2.6.1. Klasifikasi Kayu Apu

Kayu apu atau *water lettuce* (*Pistia stratiotes*) merupakan tumbuhan air yang terapung di atas permukaan air (*Floating Aquatic Plant*). Kayu apu banyak ditemukan di kanal, danau, sungai, penampungan air, sawah, pada air yang bergerak pelan atau menggenang di daerah tropis. Tumbuhan ini sangat cocok tumbuh di kolam yang sangat teduh (Junior dan Ted, 2003). Temperatur pertumbuhan optimal pada tumbuhan ini adalah 22-30° C (72-86°F). Tumbuhan air ini menyukai hidup pada daerah yang sedikit asam, yaitu pada pH 6,5-7,2 (Rivers III, 2005).

Kayu apu memiliki berbagai macam nama daerah, seperti: Empiang ara (Aceh); Gajambang (Batak); Apu-apu, Kikambang (Melayu); Kiambang, Pengambang (Kalimantan Barat);Tayapu (Kalimantan Tengah); Ki apu (Sunda); Apon-apon, Kayu apu (Jawa); Peyapch (Madura); Kapu-kapu (Bali); Apung-apung (Sasak); Poda-poda (Makassar); Capo-capo (Bugis). Dalam taksonomi tumbuhan, tumbuhan kayu apu diklasifikasikan sebagai berikut:

Klas	: Angiospermae
Sub Klas	: Monocotyledoneae
Ordo	: Arales
Famili	: Araceae
Sub Famili	: Pistialaeae
Genus	: Pistia
Spesies	: <i>Pistia stratiotes</i>

2.6.2. Morfologi Kayu Apu

Kayu apu merupakan tumbuhan air tawar yang umumnya tumbuh di daerah tropik. Kayu apu tidak memiliki batang, tetapi memiliki tunas yang menjalar. Rhizoma atau akar mengapung pendek dengan banyak akar tambahan yang penuh dengan bulu-bulu akar yang lebat. Akar kayu apu berupa seabut berwarna putih dengan panjang akar mencapai 40 cm. Tumbuhnya di genangan air yang tenang atau kadang-kadang berakar pada tepi sungai berlumpur. Meskipun tumbuhan air ini tumbuh baik ketika bebas mengambang dengan jarak beberapa cm dari permukaan air, pertumbuhan terlihat lebih baik saat di tempatkan di air dangkal dimana akar dapat mencapai tanah. Ukuran tumbuhan yang lebih besar ditunjang oleh penggunaan lapisan tipis tanah subur atau pembusukan pupuk di bawah tempat tumbuhnya. (Damayanti, 2003).

Daun kayu apu berjejal rapat membentuk roset dengan ukuran sekitar 10-15 cm sehingga dapat pas jika dipajang ditengah kolam sebagai cover ground. Daun kayu apu berdiri serong, berbentuk baji sampai persegi tiga terbalik, ujung daun membulat, pangkal daun runcing dan tepi daun berlekuk. Daun kayu apu halus jika diraba dan tertutup tepung di bawahnya. Bentuk dan ukuran daunnya berubah-ubah bisa menyerupai sendok, lidah atau rompong dengan ujung yang melebar. Warna daun hijau muda dengan warna ke pangkal semakin lama semakin putih. Susunan daun kayu apu terpusar atau berbentuk seperti bunga mawar. Ukuran melintang tumbuhan yang sehat sekitar 15 cm. Daun-daun umumnya memiliki tulang daun dengan panjang 5-13 cm. Pertulangan daun sejajar berwarna hijau kebiruan. Bunga kayu apu berada di ketiak daun berupa tongkol, berumah satu, memiliki panjang ± 1 cm, berwarna putih, berambut dan dilindungi oleh seludang. Buah kayu apu berbentuk bulat dan berwarna merah. Sedangkan biji kayu apu berbentuk bulat kecil berwarna hitam.

2.6.3. Perkembangbiakkan Kayu Apu

Kayu apu dapat menyebar melalui cara vegetatif dan generatif. Perkembangbiakkan vegetatif adalah dengan menggunakan stolon / geragih dengan cepat sekali menutupi segenap permukaan air, selanjutnya pada masa itu bagian yang terbesar daripadanya merapuh mati. Selanjutnya tumbuh tumbuhan muda yang tersisa akan membiak dengan amat cepatnya sehingga keadaan yang semula pulih kembali.

2.6.4. Manfaat Kayu Apu

Kayu apu dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos karena mempunyai kadar kalium yang tinggi. Selain itu dapat juga dijadikan makanan hewan seperti itik, babi, ikan gurami, ikan mas dan kerap dipelihara dalam aquarium. Kayu apu dapat tumbuh baik dalam air buangan dan menjernihkan air sungai yang keruh mempunyai Pada penelitian Sari (1999) dan Damayanti (2000) menunjukkan bahwa kayu apu mempunyai kemampuan dalam menurunkan kandungan pencemar dalam air limbah sampai dengan 90 %. Pada penelitian pengolahan air limbah dengan pemanfaatan kayu apu, dapat mencapai prosentase penurunan COD sebesar 64,7 %, konsentrasi N-total sebesar 72,3 % dan konsentrasi P-total sebesar 69,3 % (Sari, 1999).

Selain itu kayu apu juga mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat. Pada penelitian Mayang (2006) menunjukkan kemampuan kayu dalam menurunkan Cu^{2+} dengan kerapatan 60 mg/cm² mencapai 71,25 %. Sedangkan kemampuan kayu dalam menurunkan Cu^{2+} berdasarkan kedalaman air sebtinggi 14 cm mencapai 69 % pada hari ke-20 (Dewi, 2002). Pada penelitian yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menyebutkan bahwa pemanfaatan kayu apu dapat menurunkan kandungan logam berat Cd dalam air limbah sebesar 96,73% selama waktu tinggal 6 hari (Priyanto, 2007). Tumbuhan kayu apu dapat dilihat pada gambar berikut:



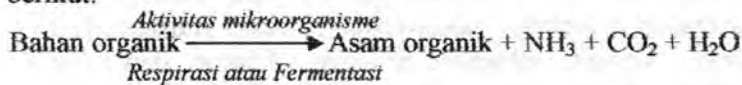
Gambar 2.6 Kayu apu (*Pistia stratiotes*)
(Sumber: www.stuartxchange.org/)

2.7. Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik Oleh Tumbuhan Air

Secara umum prinsip pengolahan air limbah menggunakan tumbuhan air adalah pemanfaatan simbiosis mikroorganisme dan tumbuhan air. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang dapat diserap oleh tumbuhan. Hal ini dapat memacu mempercepat proses penguraian bahan organik. Proses penyerapan ion-ion oleh tumbuhan air akan mencegah terjadinya penumpukan ion-ion yang bersifat racun bagi bakteri.

Prinsip dari mekanisme penurunan adalah sedimentasi dan aktivitas metabolisme mikroorganisme sebagaimana yang terjadi pada lumpur aktif konvensional dan sistem trickling filter, diman tumbuhan juga menyediakan media penyangga bagi mikroorganisme untuk melekat dan tumbuh. Pada sistem akuatik, bahan organik yang dapat terendapkan dihilangkan dengan sedimentasi dan penguraian anaerobik pada dasar reaktor. Bahan organik yang tersisa dalam larutan diturunkan oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar dan batang tumbuhan air (Polprasert, 1989 dalam Suronegoro,

2006). Proses penguraian bahan organik adalah sebagai berikut:



Asam-asam organik yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik tersebut diabsorpsi oleh akar tumbuhan air setelah berbentuk ion.

Dalam sistem pengolahan limbah menggunakan tumbuhan air, bakteri merupakan organisme utama yang berperan dalam proses pembuangan zat organik dan nutrisi dalam air limbah. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang siap diserap oleh tumbuhan air. Bahan organik yang telah terurai tersebut dapat diserap oleh akar tumbuhan air. Selain itu, proses penyerapan ion menahan kerusakan akibat oksidatif yang berasal dari cahaya matahari, air, deterjen oksidatif.

2.8. Kebutuhan Unsur Hara

2.8.1. Kebutuhan Unsur Hara Oleh Tumbuhan

Tumbuhan membutuhkan 16 unsur hara yang dibedakan menjadi unsur esensial makro dan unsur esensial mikro (Buckman, 1982). Adapun unsur-unsur tersebut adalah:

- 1) Unsur makro. Merupakan unsur yang diperlukan tumbuhan dalam jumlah besar, antara lain: Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalsium (Ca), Kalium (K), Magnesium (Mg).
- 2) Unsur mikro. Merupakan unsur yang diperlukan dalam jumlah kecil, antara lain: Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Sulfur (S), Seng (Zn), Molibden (Mo), dan Klor (Cl).

Agar unsur hara dapat diserap oleh tumbuhan maka unsur-unsur tersebut harus berada dalam fase cair atau larut dalam air. Selain unsur hara yang dapat diserap dari air, tumbuhan juga membutuhkan unsur hara karbon dan oksigen

dari udara sebagai CO_2 melalui stomata pada proses fotosintesis. Hidrogen didapat dari air dalam tanah oleh akar tumbuhan. Umumnya unsur-unsur essential didapatkan dari tanah, kecuali sebagian nitrogen didapat dari udara. Penyerapan unsur hara oleh tanaman melalui akar dan daun. Dalam proses penyerapan unsur-unsur hara tersebut harus berbentuk larutan atau terlarut dalam air.

2.8.2. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air

Sebagian besar unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan diserap melalui akar, sedangkan untuk karbon dan oksigen diserap dari udara melalui daunnya. Unsur-unsur hara yang akan diserap oleh tumbuhan terdapat dalam bentuk kation dan anion yang terlarut dalam air. Proses penyerapan unsur hara ini dapat berlangsung apabila unsur hara tersebut telah berkontak dengan permukaan akar.

Penyerapan unsur hara oleh akar melibatkan beberapa proses antara lain:

1. Pergerakan ion dari media hidup tanaman menuju ke permukaan akar tumbuhan.
Pengangkutan ion dimulai dalam lapisan perbatasan akar dan media hidup tumbuhan sedangkan pergerakannya dari media ke permukaan akar dapat terjadi melalui tahap yang berbeda, yaitu proses difusi, aliran massa dan pertukaran singgung.
2. Penimbunan ion dalam sel akar
Proses penimbunan ini dianggap sebagai tahap pertama dalam proses penyerapan unsur-unsur hara melalui akar. Ion-ion yang telah melakukan perjalanan dari media akan menempel di permukaan akar dan menembus dinding sel sampai pada membran sel. Dari lapisan membran sel inilah mekanisme penyerapan dimulai.
3. Pergerakan ion secara radikal dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu.

- a. Pergerakan ion ini dilakukan melalui tiga jalan, yaitu: pergerakan antar vakuola sel dimana vakuola sel berfungsi sebagai tempat penampungan ion tetapi bukan merupakan jalan utama.
 - b. Pergerakan melalui simplas dimana ion-ion ion dikumpulkan dalam sitoplasma dan bergerak dari sel yang satu ke yang lainnya melalui plasmadisma (penghubung diantara sel-sel hidup. Pergerakan ini berhubungan dengan pergerakan plasma sel secara difusi.
 - c. Pergerakan melalui ruang bebas dari dinding sel atau kombinasi dari ketiganya, pergerakan ini dilakukan melalui difusi dan aliran massa diantara sel.
4. Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun, dimana pergerakan ion secara pasif melalui membran ini memerlukan adanya daya gerak sehingga tercapai kesetimbangan pada dua sisi membran.

2.8.3. Kebutuhan Air

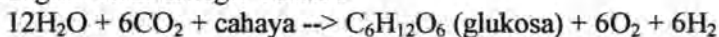
Semua jenis tumbuhan membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya, yaitu berperan dalam proses pengisian zat hara, sintesa karbohidrat pada proses fotosintesa, sintesa protein, sebagai alat angkut zat makanan (asimilat) ke bagian-bagian tumbuhan untuk melarutkan garam-garam mineral dalam tanah sehingga dapat dihisap oleh tumbuhan.

Kebutuhan air tumbuhan dinyatakan sebagai jumlah satuan air yang diserap per satuan berat kering tumbuhan yang dibentuk. Dalam menghitung kebutuhan air tumbuhan harus diperhatikan jumlah air yang hilang akibat evaporasi dan transpirasi. Evaporasi dan transpirasi adalah suatu proses kehilangan air dari tanah dan tumbuhan tetapi keduanya melalui jalur yang berbeda. Proses kehilangan air ini dipengaruhi fluktuasi faktor cuaca dan tanah.

2.9. Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO_2 dan H_2O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas pertolongan sinar matahari. Fotosintesis dipandang juga sebagai proses dimana energi matahari diubah menjadi energi kimia yang berupa karbohidrat dan dinyatakan dalam bentuk hasil bahan kering total tumbuhan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi fotosintesis adalah sifat anatomi organ fotosintesis seperti jumlah dan ukuran stomata, umur jaringan dan efisiensi translokasi. Sehingga tiap tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi kimia dalam fotosintesis. Dalam proses fotosintesis diperlukan cahaya dengan reaksi sebagai berikut:



Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut klorofil. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil mengandung organel yang disebut kloroplas. Kloroplas inilah yang menyerap cahaya yang akan digunakan dalam fotosintesis. Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun terdapat lapisan sel yang disebut mesofil yang mengandung setengah juta kloroplas setiap milimeter persegiannya. Cahaya akan melewati lapisan epidermis tanpa warna dan yang transparan, menuju mesofil, tempat terjadinya sebagian besar proses fotosintesis. Permukaan daun biasanya dilapisi oleh kutikula dari lilin yang bersifat anti air untuk mencegah terjadinya penyerapan sinar matahari ataupun penguapan air yang berlebihan

2.10. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan kombinasi antara evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi akan mengurangi kuantitas air dan zat-zat dalam air limbah. Dari sudut

evapotranspirasi maka hasil pengolahan akan lebih baik dibanding bahan baku dengan tingkat rasio Et/E (Mangkoediharjo, 2002).

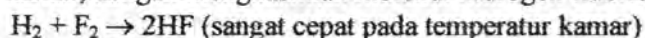
Berdasarkan penelitian terdahulu menyebutkan bahwa laju evapotranspirasi oleh tumbuhan kayu apu dengan kerapatan 40 mg/cm^2 adalah $0,00315 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$; kerapatan 60 mg/cm^2 adalah $0,003 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ dan kerapatan 80 mg/cm^2 adalah $0,00263 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (Mayang, 2006).

2.11. Laju Reaksi

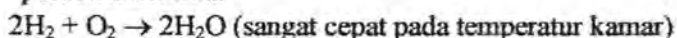
Laju atau kecepatan reaksi adalah perubahan konsentrasi pereaksi ataupun produk dalam suatu satuan waktu. Laju suatu reaksi dapat dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi suatu pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi suatu produk. (Keenan, Kleinfelter dan Wood, 1984). Laju reaksi kimia tertentu bergantung pada empat faktor, yaitu:

◆ Sifat dasar pereaksi

Zat-zat berbeda secara nyata dalam lajunya perubahan kimia. Sebagai contoh molekul hidrogen dan fluor bereaksi secara meledak, bahkan pada temperatur kamar, dengan menghasilkan molekul hidrogen fluorida:



Pada kondisi serupa, molekul hidrogen dan oksigen bereaksi begitu lambat, sehingga tidak nampak sesuatu perubahan kimia:



◆ Temperatur

Laju suatu reaksi kimia bertambah dengan naiknya temperatur. Biasanya kenaikan sebesar 10°C akan melipatkan dua atau tiga laju suatu reaksi antara molekul-molekul. Kenaikan laju reaksi ini dapat diterangkan sebagian sebagai lebih cepatnya pergerakan molekul-molekul pada temperatur yang lebih tinggi dan lebih sering bertabrakan antara satu dan lainnya. Tetapi ini

belum menjelaskan seluruhnya, kecuali bila energi pengaktifan nol. Dengan naiknya temperatur bukan hanyamolekul-molekul lebih sering bertabrakan, tetapi mereka juga bertabrakan dengan benturan yang lebih besar, karena mereka bergerak lebih cepat.

◆ **Hadirnya Suatu Katalis**

Katalis adalah suatu zat yang meningkatkan kecepatan suatu reaksi kimia tanpa dirinya mengalami perubahan kimia yang permanen. Suatu katalis diduga mempengaruhi kecepatan reaksi dengan pembentukan senyawa-antara (katalis homogen) atau dengan adsorpsi (katalis heterogen).

◆ **Konsentrasi**

Laju reaksi dapat dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi suatu pereaksi atau sebagai laju bertambahnya konsentrasi suatu produk. Pada reaksi secara umum:



Konsentrasi A pada waktu t_1 dinyatakan sebagai $[A]_1$ dan konsentrasi pada t_2 sebagai $[A]_2$, dengan satuan konsentrasi mol/liter. Laju rata-rata berkurangnya konsentrasi A dinyatakan sebagai:

$$\text{Laju rata-rata berkurangnya } [A] = \frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian tugas akhir. Penyusunan metodologi dalam pelaksanaan penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran tahapan yang sistematis dari penelitian.

3.1. Kerangka Penelitian

Penyusunan kerangka penelitian dimaksudkan untuk mengetahui segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan Tugas Akhir. Kerangka penelitian ini disusun dengan tujuan untuk:

- Memberikan arahan dalam melaksanakan studi.
- Mendapatkan gambaran awal mengenai tahapan studi secara sistematis.
- Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan studi.
- Menghindari atau memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan dan penyimpangan dalam pelaksanaan studi.

Adapun kerangka penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan selama pelaksanaan penelitian. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, analisis pendahuluan, persiapan rancangan percobaan, persiapan alat dan bahan, penelitian pendahuluan, pelaksanaan penelitian, analisis dan pembahasan serta kesimpulan.

Idc Tugas Akhir /Judul:
Penyisihan fenol pada limbah industri dari PT XYZ dengan kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Studi Literatur:

- Fenol
- Mekanisme degradasi senyawa fenol
- Limbah Industri *phenolic water*
- Fitoremediasi
- Tumbuhan Kayu apu
- Kebutuhan Unsur Hara
- Laju Reaksi

Persiapan Alat:

- Rumah kaca
- Reaktor plastik
- Peralatan penunjang

Persiapan Bahan:

- Limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water*
- Tumbuhan kayu apu dan media tanam
- Bahan kimia yang diperlukan

Penelitian Pendahuluan:

- Aklimatisasi
- Penentuan konsentrasi fenol maksimum yang dapat diserap oleh sistem bioreaktor kayu apu

Pelaksanaan Penelitian:

- Aklimatisasi
- Metode penelitian:
 - Sistem proses: batch dalam rumah kaca
 - Sistem pencahayaan : alami (sinar matahari)
- Mengaplikasikan tumbuhan kayu apu pada media tanam pada duplo reaktor

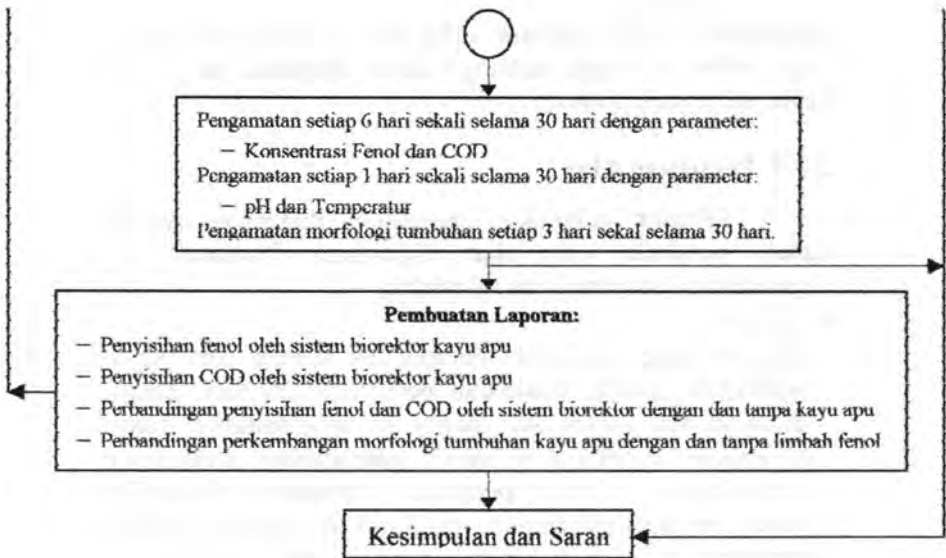
Variasi jenis limbah:

- Limbah fenol buatan
- Limbah industri *phenolic water*

Variasi konsentrasi limbah:

- 2,14 mg/l.
- 1,07 mg/L
- 0,53 mg/L





Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui prosedur penelitian yang tepat dan dapat digunakan untuk membantu menentukan periode waktu yang dibutuhkan. Sumber-sumber literatur yang digunakan meliputi buku-buku teks, jurnal ilmiah, internet dan laporan penelitian tugas akhir, thesis, dan disertasi mengenai pengolahan limbah dengan tumbuhan air yang dilakukan sebelumnya. Studi literatur yang dilakukan mengenai:

- Fenol
- Mekanisme degradasi senyawa fenol
- Proses pembentukan *phenolic water*
- Fitoremediasi
- Tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes*)
- Kebutuhan unsur hara



- Laju Reaksi

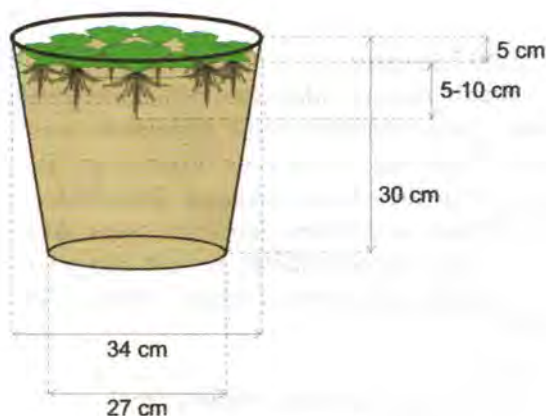
Pelaksanaan studi literatur dilakukan selama pelaksanaan tugas akhir, sehingga nantinya dapat diperoleh hasil dan kesimpulan yang akurat.

3.2.2. Persiapan Alat

Sebelum dilakukan penelitian disiapkan terlebih dahulu peralatan yang akan digunakan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Reaktor

Reaktor yang digunakan berupa bak terbuat dari plastik berbentuk silinder transparan bervolume 20 liter, dengan diameter atas 34 cm dan tinggi 30 cm. Pemilihan reaktor transparan dimaksudkan untuk memudahkan pengamatan pertumbuhan sistem perakaran tanaman. Sedangkan penentuan dimensi tersebut disesuaikan dengan morfologi tumbuhan uji dan kebutuhan tumbuh dari tumbuhan uji hingga akhir penelitian.



Gambar 3.2 Reaktor Penelitian

- Rumah Kaca
Reaktor diletakkan dalam sebuah rumah kaca agar sistem bioreaktor kayu apu terhindar dari gangguan hama dan hujan tetapi tetap memperoleh sinar matahari dan sirkulasi oksigen yang cukup.
- pH meter
- Spektrofotometer
- Kondensor
- Alat pemanas

3.2.3. Persiapan Bahan

- Tanaman kayu apu sebagai tumbuhan uji.
Pemilihan tanaman kayu apu dengan morfologi serupa, yaitu:
 - Berat tumbuhan tiap reaktor : 100 gr
 - Panjang daun : 6 – 10 cm
 - Panjang akar : 5 – 10 cm
 - Helai daun : 6 – 8 helai
 - Warna daun : hijau segar
- Limbah industri *phenolic water*
Pembuatan sampel *phenolic water* dilakukan dengan mengencerkan limbah dengan air kolam. Tujuan dilakukan pengenceran adalah untuk mendapatkan konsentrasi bahan organik yang masih dapat ditoleransi oleh kayu apu. Variasi konsentrasi yang dilakukan, yaitu:
 - konsentrasi 2,14 mg/L (pengenceran 180 x)
 - konsentrasi 1,07 mg/L (pengenceran 360 x)
 - konsentrasi 0,53 mg/L (pengenceran 720 x)
- Limbah fenol buatan
Pembuatan sample dilakukan dengan mengencerkan larutan fenol buatan berdasarkan membuat larutan fenol buatan dengan konsentrasi 1.000 mg/L menimbang berat kristal fenol berdasarkan jumlah konsentrasi limbah industri *phenolic water* yang terpakai. Kemudian kristal fenol tersebut dilarutkan dalam air kolam.

- Air kolam sebagai air pengencer limbah.
Pada penelitian digunakan media tanam air tanpa penambahan media lain yang bertujuan untuk memastikan bahwa penurunan parameter uji bukan oleh media lain yang bersifat absorben. Media air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai, yang diharapkan terdapat mikroorganisme air guna mendegradasi senyawa fenol menjadai ion-ion hasil degrassi yang dapat diserap oleh tumbuhan uji.
- Pupuk untuk penambahan nutrisi
Pada media tanam perlu ditambahkan nutrisi berupa pupuk NPK dengan komposisi Nitrogen (16%), Fosfat (16%) dan Kalium (16%). Banyaknya pupuk yang diberikan berdasarkan pada kebutuhan NPK optimum bagi pertumbuhan kayu apu, yaitu masing-masing sebesar 63,5 mg/L, 59,5 mg/L dan 41,3 mg/L (Dewi, 2000). Pada penelitian ini ditambahkan pupuk NPK yang ditambahkan sebanyak 0,397 mg/L.
- Bahan kimia untuk analisis fenol:
Bahan kimia yang dibutuhkan untuk analisis fenol adalah sebagai berikut:
 1. NH_4OH 0,5 N
 2. Larutan penyangga fosfat
 3. Larutan aminoantipirin
 4. Larutan kalium ferisianida
- Bahan kimia untuk analisis COD
Bahan kimia yang dibutuhkan untuk analisis COD adalah sebagai berikut:
 1. Kristal Hg_2SO_4
 2. Air aquadest
 3. Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N
 4. Larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4
 5. Air pendingin pada kondensor
 6. Indikator ferroin
 7. Larutan standart Ferro Amonium Sulfat 0,05 N

3.2.4. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan sebelum penelitian adalah:

1. Persiapan reaktor sebanyak 3 buah.
2. Pemilihan tanaman kayu apu dengan morfologi serupa sebanyak 100 gr tiap reaktor.
3. Air kolam sebanyak 20 L tiap reaktor.
4. Aklimatisasi

Sebelum tumbuhan kayu apu diaplikasikan pada limbah fenol terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi selama 7 hari. Tujuan proses aklimatisasi ini agar kayu apu dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang nantinya akan menjadi media tumbuhnya. Proses aklimatisasi adalah sebagai berikut:

- Pemilihan tumbuhan kayu apu yang sehat dan segar.
 - Persiapan media tanam kayu apu pada media air kolam sebanyak 10 L dengan konsentrasi limbah fenol buatan sebesar 1 mg/L.
 - Penambahan pupuk NPK sebanyak 3,97 gr dalam 10 L air kolam. Hal ini berdasarkan kebutuhan optimum N, karena unsur N merupakan unsur terpenting dalam pertumbuhan.
 - Penambahan konsentrasi fenol.
 - Pengamatan morfologi tumbuhan setelah 7 hari.
5. Penentuan konsentrasi maksimum fenol bertujuan untuk mengetahui konsentrasi maksimum fenol pada media tanam terhadap kemampuan adaptasi kayu apu. Prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut:
 - Melakukan variasi konsentrasi larutan fenol terhadap media tanam, yaitu 12,82 mg/L, 6,41 mg/L, 4,27 mg/L, 3,025 mg/L, 2,56 mg/L dan 2,14 mg/L. Penentuan variasi konsentrasi ini didasarkan pada konsentrasi limbah industri *phenolic water* sebesar 384,6 mg/L (hasil analisis BPKI Surabaya). Hal ini bertujuan untuk

menentukan konsentrasi yang akan digunakan pada pelaksanaan penelitian.

- Penanaman kayu apu pada media air kolam sebanyak 100 gr pada 10 liter air kolam.
- Penambahan pupuk NPK sebanyak 3,97 gr pada 10 l. air kolam.
- Pengamatan morfologi tumbuhan setelah 7 hari.
- Tumbuhan uji yang masih hidup dan dalam keadaan baik serta mempunyai konsentrasi fenol terbesar akan digunakan sebagai dasar dalam penentuan variasi konsentrasi fenol yang digunakan dalam penelitian.

6. Analisis awal

Analisis awal yang dilakukan adalah:

- Analisis kandungan fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water*
- Penimbangan berat kering kayu apu pada neraca analitik dan pengamatan morfologi tanaman, seperti panjang akar, tinggi batang dan jumlah daun.
- Analisis pH dan temperatur media tanam dengan menggunakan pH meter.

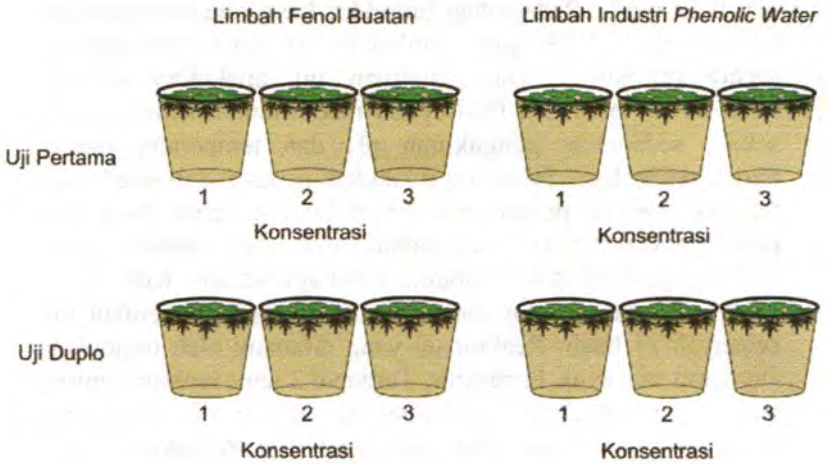
3.2.5. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan penanaman tumbuhan uji kayu apu pada media tanam dengan sistem *batch*. Pada setiap sistem bioreaktor ditanam tumbuhan uji sebanyak 100 gram dalam 20 L air kolam, agar penyerapan ion-ion hasil degradasi fenol oleh mikroorganisme air kolam dapat berjalan maksimal. Penelitian ini digunakan sistem *batch* karena merupakan penelitian awal untuk menentukan apakah konsentrasi fenol mampu didegradasi oleh sistem bioreaktor kayu apu. Sistem bioreaktor kayu apu diletakkan dalam rumah kaca agar mendapatkan cahaya matahari yang cukup. Penelitian ini dilakukan selama 30 hari berdasarkan pada umur vegetatif tanaman kayu apu. Penelitian dilakukan *duplo* reaktor dengan konsentrasi limbah buatan fenol dan

limbah industri *phenolic water* sebesar 2,14 mg/L, 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L. Pada setiap bioreaktor kayu apu ditambahkan nutrisi pupuk NPK agar tumbuhan uji dapat berkembang secara optimum. Pada penelitian ini dilakukan analisis konsentrasi fenol dan COD pada media tanam setiap 6 hari sekali, sedangkan pengukuran pH dan temperatur media tanam setiap hari. Selain itu dilakukan pengamatan morfologi tanaman berupa pengukuran tinggi batang, lebar daun dan panjang akar untuk mengetahui efek dari limbah fenol terhadap pertumbuhan tumbuhan kayu apu setiap 3 hari.

Jumlah reaktor yang dibutuhkan pada penelitian ini sebanyak 21 buah. Reaktor uji yang ditanami oleh tumbuhan kayu apu sebanyak 12 reaktor. Terdapat 2 jenis reaktor kontrol yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu bak kontrol yang berisi air kolam tidak steril tanpa tumbuhan (6 reaktor), yang berfungsi untuk pengukuran aktivitas mikroorganisme dan evaporasi dalam mendegradasi fenol. Selain itu terdapat bak kontrol yang berisi air kolam dan tumbuhan tanpa penambahan limbah fenol (3 reaktor), yang berfungsi untuk pengukuran evapotranspirasi tanaman uji dan pengamatan perumbuhan tanaman uji tanpa efek limbah fenol. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Reaktor Uji



Reaktor Kontrol



Gambar 3.3 Susunan Reaktor Penelitian

Variabel yang diteliti berupa:

- ♦ Jenis limbah

Jenis limbah yang digunakan, yaitu: limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water*. Tujuan dari tahapan penelitian ini adalah untuk membandingkan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol dalam limbah fenol buatan terhadap limbah industri *phenolic water* selama pelaksanaan penelitian.

- ♦ Konsentrasi limbah

Konsentrasi limbah yang digunakan, yaitu: 2,14 mg/L, 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L. Tujuan dari tahapan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kadar fenol dan COD pada variasi konsentrasi yang telah ditentukan.

Penelitian ini meliputi analisis parameter yang diukur, meliputi:

- ♦ Pengukuran konsentrasi fenol

Pengukuran konsentrasi fenol dilakukan menggunakan metode aminoantipirin dengan alat spektrofotometer. Sebelum dilakukan pengambilan sampel yang dilakukan setiap 5 hari, terlebih dahulu dilakukan pengadukan pada media tanam (reaktor). Untuk memperoleh sampel yang representatif, maka cara pengambilan sampel dari media tanam dilakukan dengan menggunakan botol sampel. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran konsentrasi fenol berdasarkan Standard Method (APHA, AWWA, WEF, 1998) dan SNI 06-2412-1991 adalah sebagai berikut:

1. Ukur 100 ml contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 250 ml.
2. Tambahkan 2,5 ml larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.

3. Tambahkan 1 ml larutan aminoantipirin sambil diaduk.
4. Tambahkan 1 ml larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diambil selama 15 menit.
5. Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansi pada panjang gelombang 500 nm.

• Pengukuran COD

Pengukuran COD dilakukan untuk mengetahui kadar zat organik dalam air buangan secara kimiawi. Pemeriksaan COD didasarkan pada jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik yang ada dengan menggunakan zat pengoksidasi yaitu larutan $K_2Cr_2O_7$. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran COD:

1. Masukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam erlemeyer.
2. Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml air aquadest ke dalam erlenmeyer.
3. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
4. Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensor sampai volume 150 ml.
8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3-4 tetes indikator ferroin.
10. Titrasi dengan larutan standart Ferro Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah coklat. Catat volume titran (*Alaerts dan Santika, 1987*).

- ♦ Pengukuran pH
pH pada media tanam diukur dengan menggunakan pH meter.
- ♦ Pengukuran temperatur
Temperatur pada media tanam diukur dengan menggunakan pH meter.

3.2.6. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan pada data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran parameter yang meliputi penurunan konsentrasi fenol dan parameter lain yang mempengaruhi. Analisis data dan pembahasan ini dilakukan sesuai dengan dasar-dasar teori yang mendukung pada tinjauan pustaka yang berasal dari *text book*, jurnal, artikel di internet dan sebagainya.

- ♦ Penentuan Konsentrasi Fenol dalam Media Tanam
Berdasarkan data konsentrasi fenol yang diperoleh selama penelitian, maka dilakukan perhitungan efisiensi penurunan fenol pada tiap reaktor dengan rumus :

$$\text{Efisiensi Penurunan Fenol} = \frac{C_t - C_0}{C_0} \times 100\%$$

dimana : C_t = Konsentrasi fenol pada hari ke-t (mg/L)

C_0 = Konsentrasi fenol pada hari ke-0 (mg/L)

Data efisiensi penurunan fenol pada tiap reaktor akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

- ♦ Laju Penurunan Konsentrasi dengan Variasi Konsentrasi
Laju penurunan digunakan untuk menyatakan kecepatan kehilangan kandungan fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan. Pada penelitian ini, laju penurunan fenol dihitung dengan membandingkan selisih selisih penurunan konsentrasi fenol berbanding selisih waktu yang diperlukan (dC/dt) terhadap waktu pengambilan sampel (t). Hasil laju reaksi penurunan

pengambilan sampel (t). Hasil laju reaksi penurunan konsentrasi fenol pada tiap reaktor akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

- Penentuan Konsentrasi COD Dalam Media Tanam

Dari data konsentrasi fenol yang diperoleh selama penelitian dilakukan perhitungan prosentase kandungan fenol pada tiap reaktor dengan rumus :

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{Vol.sampel(ml)}} \times P$$


dimana: a = ml FAS titrasi blanko
 b = ml FAS titrasi sampel
 N = Normalitas larutan FAS
 p = Pengenceran

Data prosentase penurunan COD pada tiap reaktor akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Dengan melihat tabel dan grafik tersebut dapat dilihat besarnya efisiensi penurunan fenol pada tiap reaktor.

Setelah masing-masing variabel penelitian diketahui hasilnya sesuai dengan tujuan penelitian, maka dilakukan pembahasan yang berisi uraian mengenai dasar pertimbangan penentuan hasil akhir yang telah dicapai

3.2.7. Kesimpulan

Berisikan pokok-pokok pikiran hasil dari keseluruhan pengamatan dan pengolahan data yang telah dilakukan. Kemudian juga dibuat saran yang sesuai sehingga dapat memberikan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

The background of the page is a repeating pattern of the ITS logo, which consists of a circular emblem with a gear and a book, surrounded by the text 'ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember'.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

DAN PEMBAHASAN

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian mengenai kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan kandungan fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dengan memanfaatkan kayu apu dalam sistem *batch*. Selain itu dibahas pula mengenai penyisihan COD, pengukuran pH dan temperatur serta pengamatan morfologi tumbuhan terhadap efek toksikan fenol. Hasil penelitian akan diketahui apakah sistem pemanfaatan tumbuhan kayu apu (*tertiary treatment*) mempunyai peran signifikan dalam pengolahan limbah fenol.

4.1. Karakteristik Limbah Awal

Pada penelitian ini digunakan dua jenis limbah, yaitu limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan. Limbah industri *phenolic water* merupakan hasil samping proses gasifikasi batubara dari PT XYZ sedangkan limbah fenol buatan ini berupa kristal fenol teknis yang dilarutkan dalam aquadest. Perbandingan karakteristik dan gambar kedua jenis limbah dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan

No.	Karakteristik	Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	Limbah Fenol Buatan
1.	Bentuk	Larutan	Larutan
2.	Warna	Coklat Tua	Bening
3.	Bau	Menyengat	Khas
4.	pH	8,02	7,37
5.	Temperatur	28,7°C	30,5°C
6.	Kadar Fenol	384,6 mg/L*	1000 mg/L
7.	Kadar COD	886,5 mg/L*	-
8.	Berat Jenis	-	1,025 mg/L

Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan (lanjutan)

No.	Karakteristik	Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	Limbah Fenol Buatan
9.	Magnesium (Mg)	27,70 mg/L**	-
10.	Kesadahan (CaCO ₃)	280 mg/L**	-
11.	Phospat (PO ₄)	5,18 mg/L**	-
12.	Natrium (Na)	26,11 mg/L**	-
13.	Kalium (K)	8 mg/L**	-
14.	Sulfat (SO ₄)	55,71 mg/L**	-
15.	Besi (Fe)	0,75 mg/L**	-
16.	Krom (Cr)	0,03 mg/L**	-
17.	Aluminium (Al)	4,15 mg/L**	-
18.	Sulfida	12,63 mg/L**	-

Keterangan:*)Data Sekunder Laboratorium BPKI Surabaya, 2007

***)Data Sekunder PT XYZ, 2007



(a) Limbah Industri
Phenolic Water



(b) Limbah Fenol Buatan

Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Limbah Awal

4.2. Penelitian Pendahuluan

Tujuan pelaksanaan penelitian pendahuluan adalah untuk mengetahui konsentrasi fenol maksimum yang masih dapat ditoleransi keberadaannya oleh kayu apu. Pelaksanaan penelitian pendahuluan dilakukan dalam dua tahapan, yaitu aklimatisasi dan penentuan konsentrasi maksimum.

4.2.1. Aklimatisasi

Tujuan aklimatisasi adalah untuk penyesuaian (adaptasi) kayu apu terhadap limbah fenol yang nantinya akan menjadi media hidupnya. Pelaksanaan aklimatisasi dilakukan dengan memindahkan kayu apu dari habitat asal ke media tanam dengan konsentrasi fenol 1 mg/L dalam 20 liter air pengencer selama 7 hari. Selain itu juga ditambahkan pupuk NPK sebanyak 7,94 mg. Berat kayu apu yang digunakan yaitu 100 gram tiap reaktor, dengan kerapatan 110 mg/cm² dimana telah menutupi luasan reaktor sebesar 80 %. Penentuan berat ini berdasarkan Dewi (2000) menunjukkan bahwa efisiensi penurunan Cu²⁺ terbesar pada reaktor 100 mg/L. Selain itu ditunjang hasil analisis statistik Dewi (2000) menyatakan bahwa kerapatan yang semakin besar akan memberikan efisiensi penurunan Cu²⁺ yang besar pula selama luasan reaktor masih mencukupi pertumbuhan kayu apu (kayu apu tidak saling tumpang tindih).

Jumlah pupuk NPK yang ditambahkan berdasarkan dari kebutuhan NPK optimum kayu apu, yaitu unsur N, P dan K masing-masing sebesar 63,5 mg/L, 59,5 mg/L dan 41,3 mg/L (Dewi, 2000). Penambahan pupuk NPK ini bertujuan agar kayu apu mendapat nutrisi bagi pertumbuhannya. Sedangkan pemilihan waktu aklimatisasi selama 7 hari dikarenakan pada saat tersebut tumbuhan dalam keadaan stabil, dimana telah tumbuh tunas baru (Dewi, 2000). Air pengencer yang digunakan merupakan air kolam yang berasal dari saluran Semolowaru yang merupakan habitat asli kayu apu (Gambar 4.2). Kayu apu yang telah diaklimatisasi selanjutnya akan digunakan pada penelitian pendahuluan penentuan konsentrasi maksimum.



Gambar 4.2 Habitat Kayu Apu di Saluran Semolowaru

4.2.2. Penentuan Konsentrasi Fenol Maksimum pada Limbah Industri *Phenolic Water*

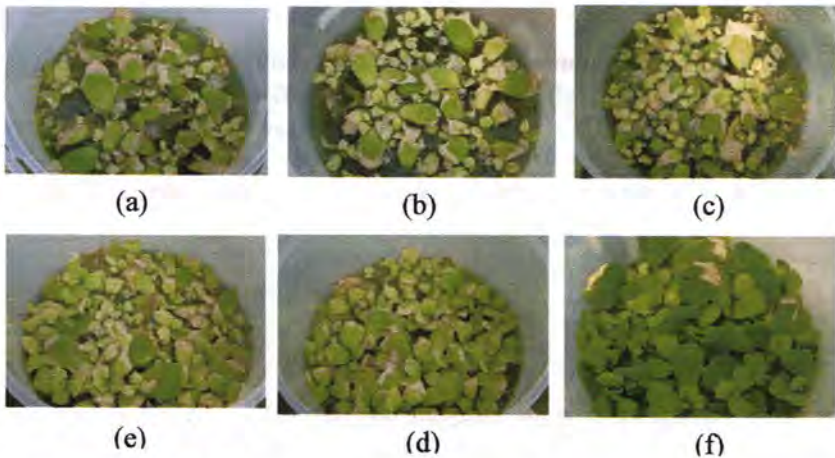
Penelitian pendahuluan ini digunakan variasi konsentrasi limbah, yaitu 12,82 mg/L, 6,41 mg/L, 4,27 mg/L, 3,205 mg/L, 2,56 mg/L dan 2,14 mg/L. Pemilihan variasi tersebut berdasarkan tingkat pengenceran terhadap limbah *phenolic water*. Pada masing-masing reaktor berisi kayu apu seberat 100 gram yang telah diaklimatisasi dalam volume media tanam 20 liter dan ditambahkan pupuk NPK sebanyak 7,94 mg. Penelitian ini dilakukan selama 7 hari, dimana telah terlihat perbedaan efek toksikan limbah *phenolic water* dalam berbagai konsentrasi. Pada penelitian ini dibandingkan tingkat toleransi sistem bioreaktor kayu apu terhadap berbagai variasi konsentrasi limbah industri *phenolic water* sehingga dapat diketahui konsentrasi fenol maksimum yang dapat ditoleransi keberadaannya oleh sistem bioreaktor kayu apu.. Penelitian ini hanya dilakukan pengamatan secara langsung terhadap morfologi kayu apu tanpa analisis parameter uji pada media tanam. Hasil penentuan konsentrasi maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Penentuan Konsentrasi Maksimum pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Konsentrasi (mg/L)	Waktu Pengamatan (hari)						
	1	2	3	4	5	6	7
12,82	Segar	Layu	Layu	Layu	Layu	Mati	Mati
6,41	Segar	Segar	Segar	Layu	Layu	Layu	Mati
4,27	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Layu	Layu
3,205	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Layu
2,56	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Layu
2,14	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar

Berdasarkan data tersebut diatas, dapat diketahui bahwa kematian kayu apu terjadi pada konsentrasi fenol 12,82 mg/L dan 6,41 mg/L. Pada konsentrasi 4,27 mg/L, 3,205 mg/L dan 2,56 mg/L, kayu apu masih dapat bertahan hidup hingga akhir pengamatan meskipun mengalami kelayuan. Sedangkan pada konsentrasi 2,14 mg/L, kayu apu tetap dapat bertahan hidup dengan segar. Peristiwa kematian dan kelayuan kayu apu tersebut disebabkan adanya penyerapan dan akumulasi efek toksikan fenol pada jaringan tubuh kayu apu. Penyerapan kayu apu terhadap fenol terjadi karena peristiwa osmosis, dimana fenol berpindah dari konsentrasi lebih tinggi dalam hal ini media tanam menuju ke konsentrasi rendah, yaitu jaringan tubuhnya. Semakin tinggi konsentrasi pada media tanam semakin besar penyerapan fenol ke dalam jaringan tubuh kayu apu, sehingga semakin besar pula efek toksikan yang dialami kayu apu.

Hasil penelitian pendahuluan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi fenol 2,14 mg/L merupakan konsentrasi terbesar yang masih dapat ditoleransi keberadaannya oleh kayu apu. Dengan demikian dapat ditentukan konsentrasi fenol yang digunakan selama pelaksanaan penelitian, yaitu: 2,14 mg/L, 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L. Penentuan ketiga konsentrasi tersebut bertujuan agar kayu apu masih dapat bertahan hidup dan berkembang biak selama masa penelitian 30 hari.



Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Industri *Phenolic Water* (12,82 mg/L (a), 6,41 mg/L (b) 4,27 mg/L (c), 3,205 mg/L (d), 2,56 mg/L (e) dan 2,14 mg/L (f))

4.3. Pelaksanaan Penelitian

4.3.1. Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian selama 7 hari. Tujuan pelaksanaan aklimatisasi agar kayu apu dapat menyesuaikan diri terhadap limbah fenol yang nantinya akan menjadi media hidupnya. Pelaksanaan aklimatisasi dilakukan dengan memindahkan kayu apu dari habitat asalnya ke dalam media tanam dengan konsentrasi fenol 1 mg/L dalam 20 L air pengencer dan ditambahkan pupuk NPK sebanyak 7,94 mg. Kayu apu yang telah diaklimatisasi selanjutnya digunakan pada pelaksanaan penelitian.

Pada hari terakhir aklimatisasi terlihat perubahan warna daun kayu apu menjadi hijau muda kekuningan. Hal ini menunjukkan bahwa kayu apu mengalami peristiwa klorosis, yaitu kekurangan kadar klorofil (zat hijau daun). Peristiwa terjadinya klorosis dimungkinkan karena efek toksikan fenol yang ditambahkan pada media tanam bersifat racun, sehingga dapat mengganggu proses pembentukan klorofil pada kayu apu. Perubahan warna daun kayu apu dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Kayu Apu pada Awal Aklimatisasi



Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Kayu Apu pada Akhir Aklimatisasi

4.3.2. Penyisihan Fenol dengan Memanfaatkan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Pelaksanaan penelitian ini diperlukan 12 reaktor uji kayu apu dan 6 reaktor kontrol tanpa kayu apu. Penelitian pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan diperlukan masing-masing 3 reaktor uji dan 6 reaktor kontrol. Variasi konsentrasi limbah *phenolic water* yang digunakan adalah 2,14 mg/L, 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L. Pemilihan ketiga konsentrasi tersebut berdasarkan penelitian pendahuluan, sehingga diperkirakan kayu apu masih dapat bertahan hidup pada konsentrasi terbesar 2,14 mg/L. Air limbah tersebut diencerkan dalam 20 L air kolam, yang diperkirakan masih cukup hingga akhir penelitian selama 30 hari. Kayu apu yang akan dipindahkan ke media tanam setelah melalui tahapan aklimatisasi sebesar 100 gram setiap reaktor. Selain itu juga ditambahkan pupuk NPK sebanyak 7,94 mg pada awal penelitian berlangsung. Hasil penelitian dan pembahasan analisis penyisihan fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

4.3.2.1. Penyisihan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Pengukuran penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dengan memanfaatkan kayu apu dilakukan melalui metode analisis spektrofotometri pada alat spektrofotometer tipe SPECTRONIC 20 GENESYS dengan panjang gelombang (λ) optimum 500 nm. Pengukuran konsentrasi fenol ini dilakukan hingga hari ke-18. Hal ini disebabkan pada hari ke-18 nilai efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol dengan konsentrasi 2,14 mg/L telah mencapai 90 % dan konsentrasi akhir telah memenuhi baku mutu. Hasil pengukuran konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

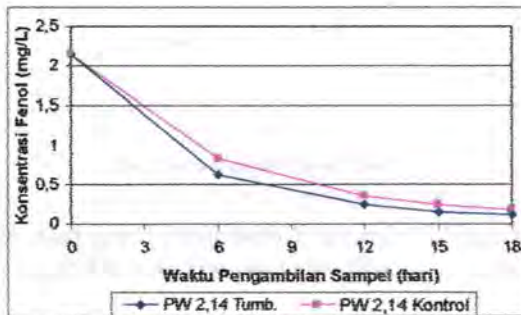
Tabel 4. 3 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari	Konsentrasi Fenol (mg/L)					
	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	2,14	1,07	0,53	2,14	1,07	0,53
6	0,623	0,392	0,229	0,840	0,650	0,440
12	0,239	0,199	0,193	0,356	0,247	0,225
15	0,148	0,117	0,163	0,243	0,145	0,155
18	0,110	0,087	0,110	0,170	0,102	0,117

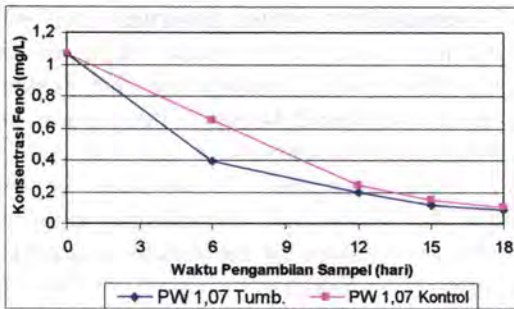
Keterangan :

- PW 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- PW 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L

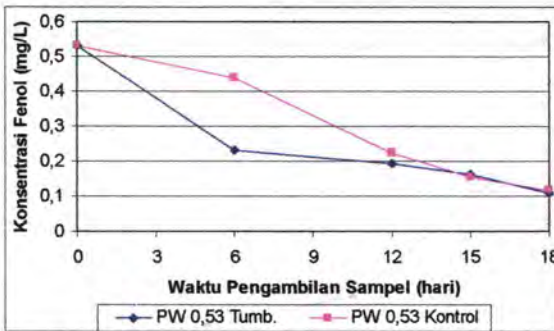
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi fenol limbah industri *phenolic water* terjadi pada rektor uji dan reaktor kontrol. Penurunan fenol dalam reaktor uji dan reaktor kontrol terbesar terjadi pada konsentrasi 2,14 mg/L. Pengukuran konsentrasi fenol di akhir pengamatan pada reaktor uji dan reaktor kontrol konsentrasi 2,14 mg/L mengalami penurunan, masing-masing menjadi 0,110 mg/L dan 0,170 mg/L. Pengukuran konsentrasi fenol di akhir pengamatan pada reaktor uji dan reaktor kontrol konsentrasi 1,07 mg/L mengalami penurunan menjadi 0,087 mg/L dan 0,102 mg/L. Sedangkan pengukuran konsentrasi fenol di akhir pengamatan pada reaktor uji dan reaktor kontrol konsentrasi 0,53 mg/L mengalami penurunan menjadi 0,110 mg/L dan 0,117 mg/L. Guna memudahkan pembahasan mengenai perbandingan penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.6 - 4.8.



Gambar 4.6 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.7 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 1,07 mg/L



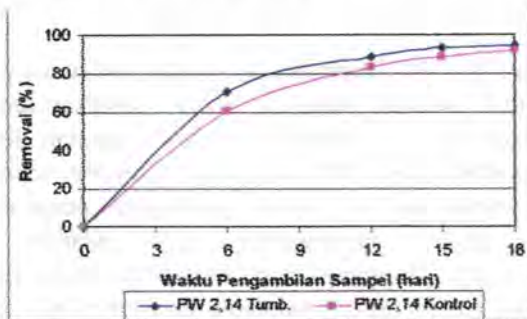
Gambar 4.8 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 0,53 mg/L

Adapun tingkat efisiensi penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

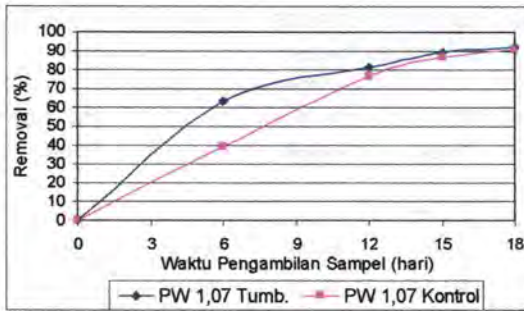
Tabel 4.4 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari	Efisiensi Penurunan Fenol (%)					
	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	0	0	0	0	0	0
6	70,89	63,37	56,80	60,73	39,24	17,07
12	88,84	81,41	63,51	83,36	76,91	57,58
15	93,08	89,10	69,26	88,63	86,42	70,83
18	94,88	91,86	79,32	92,07	90,46	77,90

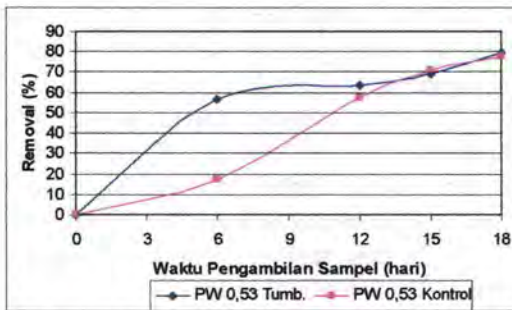
Tabel 4.4 menunjukkan bahwa hingga akhir pengamatan selama 18 hari, efisiensi penurunan fenol dalam reaktor uji dan reaktor kontrol terbesar terjadi pada konsentrasi 2,14 mg/L. Efisiensi penurunan fenol konsentrasi limbah 2,14 mg/L pada reaktor uji mencapai 94,88 % dan reaktor kontrol mencapai 92,07 %. Efisiensi penurunan fenol pada konsentrasi limbah 1,07 mg/L pada reaktor uji sebesar 91,86 % dan reaktor kontrol sebesar 90,46 %. Sedangkan efisiensi penurunan fenol konsentrasi limbah 0,53 mg/L pada reaktor uji mencapai 79,32 % dan reaktor kontrol mencapai 77,90 %. Efisiensi penurunan fenol limbah industri *phenolic water* dapat divisualisasikan pada Gambar 4.9 - 4.11.



Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 1,07 mg/L



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 0,53 mg/L

Gambar 4.9 – 4.11 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan fenol pada limbah industri *phenolic water* terbesar terjadi pada reaktor uji dibandingkan reaktor kontrol. Penurunan fenol pada reaktor uji dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme, adsorpsi kayu apu, evapotranspirasi dan evaporasi. Sedangkan penurunan fenol pada reaktor kontrol dipengaruhi oleh adanya aktivitas mikroorganisme dan ganggang serta evaporasi. Pada reaktor uji adanya simbiosis antara mikroorganisme dan kayu apu. Kayu apu menyediakan tempat hidup dan memasok sebagian oksigen, sehingga membantu mikroorganisme menguraikan bahan pencemar menjadi unsur hara yang dapat diserap oleh tumbuhan. Kehidupan

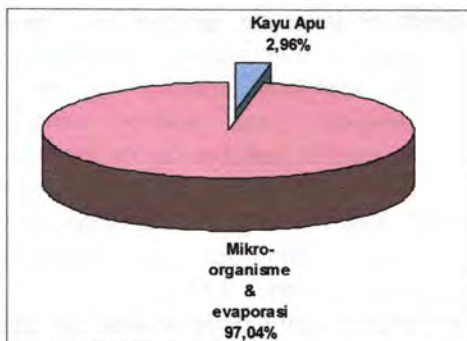
mikroorganisme dapat berlangsung dengan baik apabila transfer oksigen dari akar tumbuhan mencukupi. (Khatuddin, 2003). Pada reaktor uji, kayu apu menyerap ion-ion organik hasil uraian mikroorganisme. Sedangkan pada reaktor kontrol ganggang memanfaatkan ion-ion organik tersebut ke dalam metabolismenya melalui dinding sel. Pada reaktor uji dan reaktor kontrol dimungkinkan adanya bakteri yang mendegradasi senyawa fenol, seperti *Pseudomonas sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Mycoplana sp.* dan *Flawbacterium peregilum* (Rothmel, 1990).

Efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji terbesar terjadi pada konsentrasi 2,14 mg/L. Hal ini menunjukkan terjadinya peristiwa osmosis, yaitu perpindahan atau transfer fenol dari media tanam (konsentrasi tinggi) menuju jaringan tubuh kayu apu (konsentrasi rendah). Prinsip penyerapan fenol oleh tumbuhan adalah semakin besar konsentrasi dalam media tanam, semakin besar pula konsentrasi fenol yang diserap tumbuhan (Bryan, 1979 dalam Dewi, 2000). Peran kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* diperoleh berdasarkan selisih efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Kontribusi kayu apu dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.12.

Tabel 4.5 Hasil Penelitian Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* di Akhir Pengamatan (hari ke-18)

Jenis Reaktor	Efisiensi (%)		Kontribusi (%)	
	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol	Kayu Apu	Mikro-organisme
PW 2,14	94,88	92,07	2,96	97,04
PW 1,07	91,86	90,46	1,53	98,47
PW 0,53	79,32	77,90	1,79	98,21

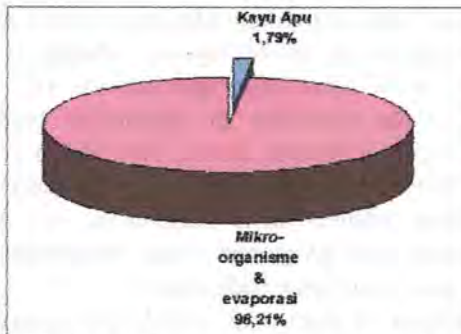
Kontribusi kayu apu dibandingkan mikroorganisme dan evaporasi tiap konsentrasi limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Gambar 4.12 – 4.14.



Gambar 4.12 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L



Gambar 4.13 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* 1,07mg/L



Gambar 4.14 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* 0,53 mg/L

Gambar 4.12 – 4.14 menunjukkan bahwa kontribusi kayu apu dalam menurunkan fenol pada limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 2,96 %, konsentrasi 1,07 mg/L sebesar 1,79 % dan konsentrasi 0,53 mg/L sebesar 1,53 %. Sedangkan kontribusi mikroorganisme pada limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 97,04 %, konsentrasi 1,07 mg/L sebesar 98,21 % dan konsentrasi 0,53 mg/L sebesar 98,47 %. Hal ini menunjukkan bahwa kayu apu tidak memiliki kemampuan yang cukup signifikan dalam menurunkan fenol. Dengan demikian penurunan fenol lebih efisien dan efektif dilakukan hanya berdasarkan aktivitas mikroorganisme dan cvaporasi.

Kemampuan kayu apu dalam menurunkan fenol belum mencapai maksimal dikarenakan penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mengetahui kemampuan kayu apu dalam menyisihkan fenol, sehingga hanya membatasi variasi penelitian berupa variasi jenis limbah dan konsentrasi. Pada penelitian terdahulu menyatakan variasi kerapatan kayu apu berpengaruh dalam efisiensi removal.

Berdasarkan penelitian terdahulu tentang kemampuan kayu apu dalam menurunkan Cu^{2+} yang dilakukan Dewi (2000) menunjukkan efisiensi terbesar pada kerapatan 100 mg/cm² sebesar

73,75 % sedangkan pada penelitian Mayang (2006) menunjukkan efisiensi terbesar pada kerapatan 60 mg/cm^2 sebesar 71,25 %. Pada penelitian ini digunakan berat kayu apu sebesar 100 gram untuk setiap reaktor uji. Pada penelitian ini digunakan berat kayu apu sebesar 100 gram telah menutupi luasan permukaan sekitar 80 %, sehingga pada hari selanjutnya ketika kayu apu mengalami pertumbuhan dengan adanya tunas baru tidak ada area kosong sehingga mengurangi area evaporasi yang merupakan salah satu faktor terjadinya penurunan fenol pada reaktor.

Pada penelitian ini juga tidak melakukan variasi ketinggian air. Pada penelitian ini digunakan ketinggian air sebesar 30 cm. Pada analisis statistik penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sari (1999) menyatakan bahwa ketinggian air tidak berpengaruh terhadap efisiensi penurunan P-total, N-total dan COD. Waktu aklimatisasi dimungkinkan juga berpengaruh terhadap kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol. Pada penelitian ini tidak melakukan variasi waktu aklimatisasi. Aklimatisasi penelitian ini dilakukan selama 7 hari, karena diperkirakan kayu apu telah mampu beradaptasi dalam media hidup yang baru. Pada penelitian ini juga tidak dilakukan variasi temperatur. Hal ini dimungkinkan temperatur berkaitan terhadap laju evaporasi fenol sehingga mempengaruhi penurunan fenol. Hal ini. Selain itu temperatur juga mempengaruhi pertumbuhan kayu apu optimum pada temperatur $22^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$.

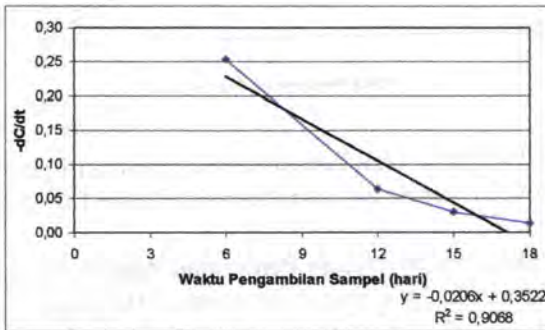
4.3.2.1.1. Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Laju reaksi adalah perubahan konsentrasi pereaksi ataupun produk dalam suatu satuan waktu (Keenan, Kleinfelter dan Wood, 1984). Pada penelitian ini perhitungan laju reaksi penurunan fenol tidak ditujukan dalam menentukan orde (tingkat) reaksi. Hal ini disebabkan penurunan konsentrasi fenol tidak hanya berasal dari kemampuan penyerapan tumbuhan kayu apu tetapi dimungkinkan adanya faktor lain yang mempengaruhi seperti aktivitas mikroorganisme, evapotranspirasi dan evaporasi. Penentuan laju reaksi dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Perhitungan

penentuan laju reaksi berasal dari selisih penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* berbanding selisih waktu yang diperlukan ($-dC/dt$) terhadap waktu pengambilan sampel (t). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.6 - 4.8 dan Gambar 4.15 - 4.17.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L

Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	2,14	0	0	0
6	0,623	1,517	6	0,253
12	0,239	0,384	6	0,064
15	0,148	0,091	3	0,030
18	0,110	0,039	3	0,013

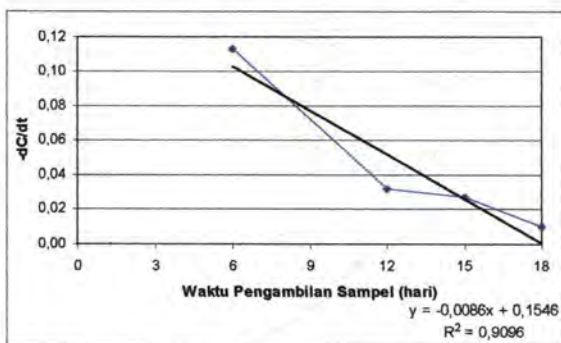


Gambar 4.15 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L



Tabel 4.7 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 1,07 mg/L

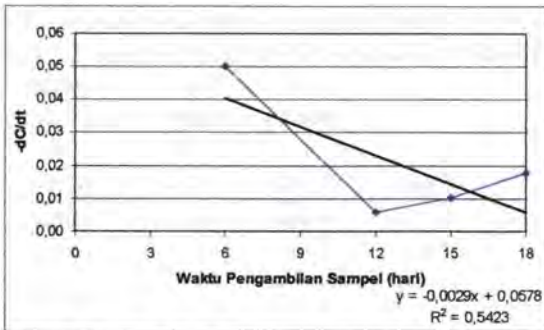
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	1,07	0	0	0
6	0,392	0,678	6	0,113
12	0,199	0,193	6	0,032
15	0,117	0,082	3	0,027
18	0,087	0,030	3	0,010



Gambar 4.16 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* 1,07 mg/L

Tabel 4.8 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 0,53 mg/L

Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	0,53	0	0	0
6	0,229	0,301	6	0,050
12	0,193	0,036	6	0,006
15	0,163	0,031	3	0,010
18	0,110	0,053	3	0,018

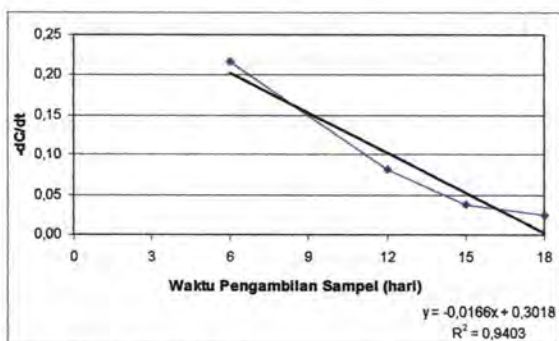


Gambar 4.17 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water* 0,53 mg/L

Tabel 4.6 - 4.8 dan Gambar 4.15 - 4.17 menunjukkan bahwa reaktor uji limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L dan 1,07 mg/L memperlihatkan laju penurunan fenol yang sangat besar tetapi semakin berkurang pada hari berikutnya. Sedangkan laju penurunan fenol pada konsentrasi 0,53 mg/L setelah hari ke-12 mengalami peningkatan kembali. Hal tersebut menunjukkan tidak hanya kayu apu yang berperan terhadap penurunan fenol, tetapi dipengaruhi faktor lain. Mengacu terhadap slope regresi linier yang mendekati 1, laju penurunan fenol terbaik pada reaktor uji pada konsentrasi 1,07 mg/L. Berdasarkan laju penurunan fenol pada reaktor uji limbah industri *phenolic water* tidak signifikan di setiap konsentrasi. Selain itu ditunjang pula dari analisis statistik (Lampiran D.1) yang menyimpulkan efisiensi penurunan fenol tidak signifikan. Laju penurunan fenol pada reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.9 - 4.11 dan Gambar 4.18 - 4.20

Tabel 4.9 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 2,14 mg/L

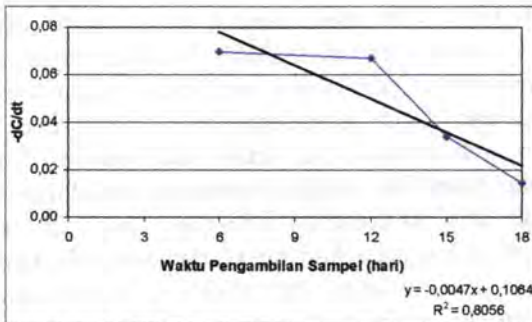
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	2,14	0	0	0
6	0,840	1,300	6	0,217
12	0,356	0,484	6	0,081
15	0,243	0,113	3	0,038
18	0,170	0,074	3	0,025



Gambar 4.18 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L

Tabel 4.10 Hasil Penelitian Laju Reaksi Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 1,07 mg/L

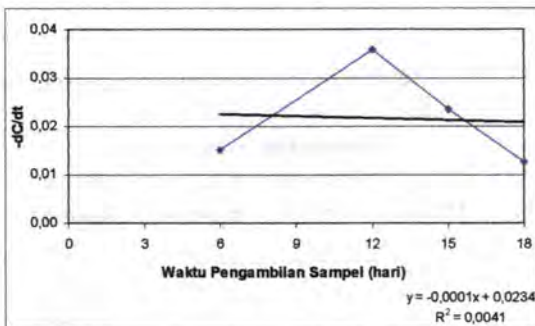
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	1,07	0	0	0
6	0,650	0,420	6	0,070
12	0,247	0,403	6	0,067
15	0,145	0,102	3	0,034
18	0,102	0,043	3	0,014



Gambar 4.19 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* 1,07 mg/L

Tabel 4.11 Hasil Penelitian Laju Reaksi Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi 0,53 mg/L

Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	0,53	0	0	0
6	0,440	0,090	6	0,015
12	0,225	0,215	6	0,036
15	0,155	0,070	3	0,023
18	0,117	0,037	3	0,012



Gambar 4.20 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* 0,53 mg/L

Tabel 4.9 - 4.11 dan Gambar 4.18 - 4.20 menunjukkan bahwa reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L mengalami penurunan yang besar pada hari ke-6 dan semakin berkurang. Laju penurunan fenol konsentrasi 1,07 mg/L pada hari ke-6 tidak terlalu besar, tetapi pada hari ke-12 mengalami perubahan yang besar dan semakin menurun setelahnya. Sedangkan laju penurunan fenol konsentrasi 0,53 mg/L pada hari ke-6 hanya sedikit dan meningkat pada hari ke-12 dan kembali menurun pada hari berikutnya. Hal tersebut menunjukkan tidak hanya aktivitas mikroorganisme dan evaporasi berpengaruh besar dalam penurunan fenol. Mengacu terhadap slope regresi linier yang mendekati 1, laju penurunan fenol terbaik pada reaktor kontrol konsentrasi 2,14 mg/L. Berdasarkan laju penurunan fenol pada reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* tidak signifikan di setiap konsentrasi. Selain itu ditunjang pula dari analisis statistik (Lampiran D.2) yang menyimpulkan bahwa efisiensi penurunan fenol tidak signifikan.

4.3.2.2. Penyisihan Fenol pada Limbah Fenol Buatan

Pengukuran konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan dilakukan melalui metode analisis spektrofotometri pada alat spektrofotometer tipe SPECTRONIC 20 GENESYS dengan panjang gelombang (λ) optimum 500 nm hingga hari ke-18. Hasil pengukuran konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

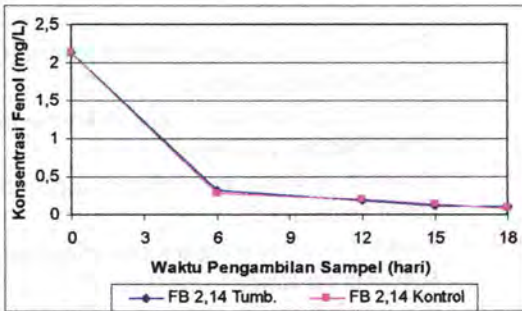
Tabel 4.12 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Konsentrasi Fenol (mg/L)					
	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	2,14	1,07	0,53	2,14	1,07	0,53
6	0,321	0,494	0,460	0,276	0,236	0,310
12	0,176	0,180	0,172	0,199	0,182	0,138
15	0,117	0,121	0,153	0,127	0,084	0,094
18	0,095	0,080	0,110	0,087	0,065	0,080

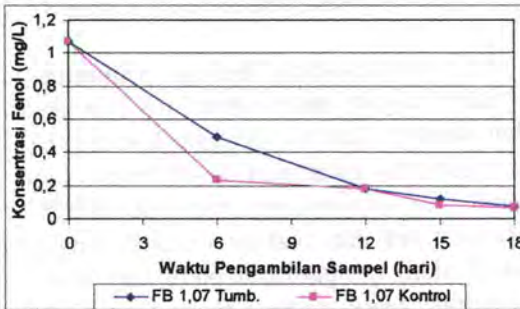
Keterangan :

- FB 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L
- FB 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L

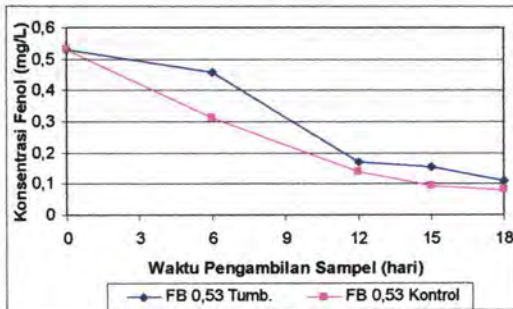
Tabel 4.12 menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi limbah fenol buatan terjadi pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Reaktor uji dan reaktor kontrol dengan konsentrasi 2,14 mg/L hingga akhir pengamatan pada hari ke-18 mengalami penurunan konsentrasi fenol, masing-masing menjadi 0,095 mg/L dan 0,087 mg/L. Reaktor uji dan reaktor kontrol dengan konsentrasi 1,07 mg/L hingga akhir pengamatan pada hari ke-18 mengalami penurunan konsentrasi fenol, masing-masing menjadi 0,080 mg/L dan 0,065 mg/L. Sedangkan pada reaktor uji dan reaktor kontrol konsentrasi 0,53 mengalami penurunan konsentrasi fenol, masing-masing menjadi 0,110 mg/L dan 0,080 mg/L. Guna memudahkan pembahasan mengenai perbandingan kemampuan kayu apu dengan air kolam, hasil penurunan konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan dari Tabel 4.14 dapat dilihat pada Gambar 4.36 - 4.38.



Gambar 4.21 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.22 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 1,07 mg/L



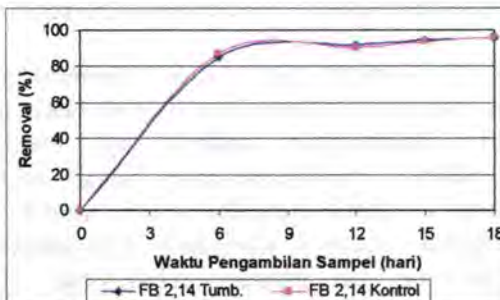
Gambar 4.23 Grafik Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 0,53 mg/L

Adapun tingkat efisiensi penurunan konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.24 - 4.26.

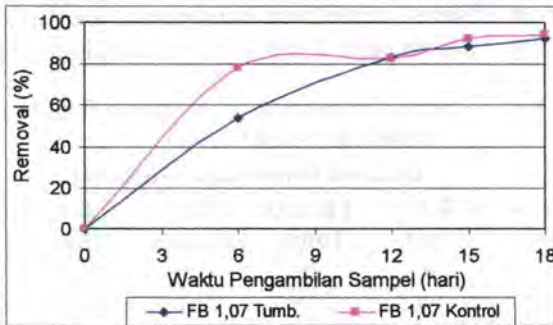
Tabel 4.13 Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Efisiensi Penurunan Fenol (%)					
	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	0	0	0	0	0	0
6	85,02	53,84	13,22	87,08	77,97	41,42
12	91,78	83,22	67,52	90,70	82,96	73,97
15	94,55	88,66	71,18	94,07	92,12	82,35
18	95,58	92,56	79,32	95,93	93,97	84,98

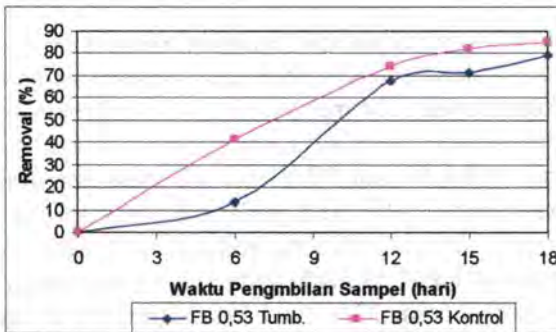
Tabel 4.13 menunjukkan efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol limbah fenol selama 18 hari terbesar terjadi pada konsentrasi 2,14 mg/L. Efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol konsentrasi 2,14 mg/L, masing-masing sebesar 94,88 % dan 92,07 %. Efisiensi penurunan fenol pada konsentrasi limbah 1,07 mg/L pada reaktor uji sebesar 91,86 % dan reaktor kontrol sebesar 90,46 %. Sedangkan efisiensi penurunan fenol konsentrasi limbah 0,53 mg/L pada reaktor uji sebesar 79,32 % dan reaktor kontrol sebesar 77,90 %. Efisiensi penurunan fenol dapat divisualisasikan pada Gambar 4.9 - 4.11.



Gambar 4.24 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.25 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 1,07 mg/L



Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 0,53 mg/L

Berdasarkan Gambar 4.24 - 4.26 menunjukkan efisiensi penurunan fenol pada limbah fenol buatan lebih besar terjadi pada reaktor kontrol dibandingkan reaktor uji. Perbedaan ini dimungkinkan adanya mikroorganisme yang cocok dalam mendegradasi senyawa fenol menjadai io-ion organik yang akan diserap oleh ganggang. Selain iu dipngaruhi oleh adanya simbiosis antara mikroorganisme dan ganggang lebih baik dibandingkan terhadap kayu apu. Peran kayu dalam menurunkan limbah fenol buatan tidak diperhitungkan apu dikarenakan selisih efisiensi

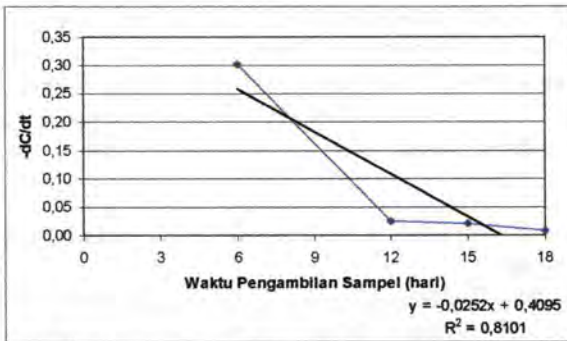
penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol bernilai negatif. Tingginya efisiensi penurunan fenol pada reaktor kontrol juga dimungkinkan adanya faktor evaporasi. Penjelasan mengenai faktor evaporasi dalam menurunkan limbah fenol buatan secara jelas pada sub bab selanjutnya.

4.3.2.2.1 Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan

Laju atau kecepatan reaksi adalah perubahan konsentrasi pereaksi ataupun produk dalam suatu satuan waktu (Keenan, Kleinfelter dan Wood, 1984). Perhitungan penentuan laju reaksi berasal dari selisih penurunan konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan berbanding selisih waktu yang diperlukan ($-dC/dt$) terhadap waktu pengambilan sampel (t). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.14 - 4.16 dan Gambar 4.26 - 4.28.

Tabel 4.14 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L

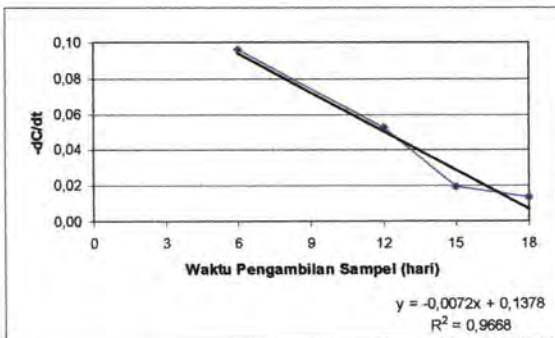
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	2,14	0	0	0
6	0,623	1,517	6	0,253
12	0,239	0,384	6	0,064
15	0,148	0,091	3	0,030
18	0,110	0,039	3	0,013



Gambar 4.27 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L

Tabel 4.15 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L

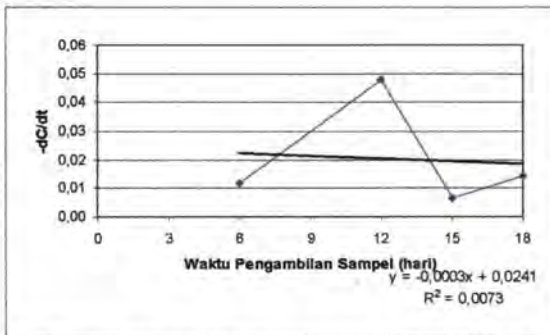
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	1,07	0	0	0
6	0,494	0,576	6	0,096
12	0,180	0,314	6	0,052
15	0,121	0,058	3	0,019
18	0,080	0,042	3	0,014



Gambar 4.28 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L

Tabel 4.16 Hasil Penelitian Laju Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L

Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	0,53	0	0	0
6	0,460	0,070	6	0,012
12	0,172	0,288	6	0,048
15	0,153	0,019	3	0,006
18	0,110	0,043	3	0,014



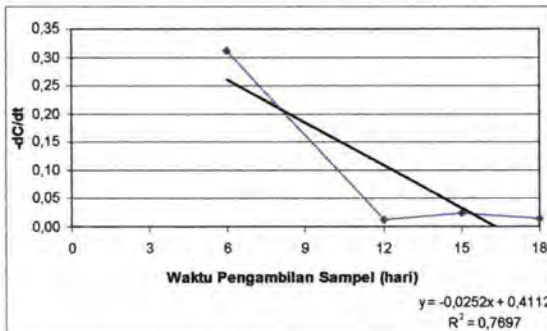
Gambar 4.29 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Uji Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L

Tabel 4.14 - 4.16 dan Gambar 4.27 - 4.29 menunjukkan bahwa reaktor uji limbah fenol buatan 2,14 mg/L dan 1,07 mg/L memperlihatkan laju penurunan fenol yang berangsur menurun. Sedangkan laju penurunan konsentrasi 0,53 mg/L pada hari ke-6 mengalami peningkatan dan menurun pada hari ke-12 kemudian meningkat kembali pada hari ke-15. Hal tersebut menunjukkan tidak hanya kayu apu yang berperan terhadap penurunan fenol, tetapi dipengaruhi pula oleh faktor-faktor lain. Dengan mengacu terhadap regresi linier, laju penurunan fenol terbaik pada reaktor uji konsentrasi 1,07 mg/L. Berdasarkan laju penurunan fenol pada

reaktor uji limbah fenol buatan tidak signifikan di setiap konsentrasi. Selain itu ditunjang pula dari analisis statistik (Lampiran D.3) yang menyimpulkan bahwa efisiensi penurunan fenol tidak signifikan. Sedangkan laju reaksi penurunan fenol pada reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.17 – 4.19 dan Gambar 4.30 – 4.32.

Tabel 4.17 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/L

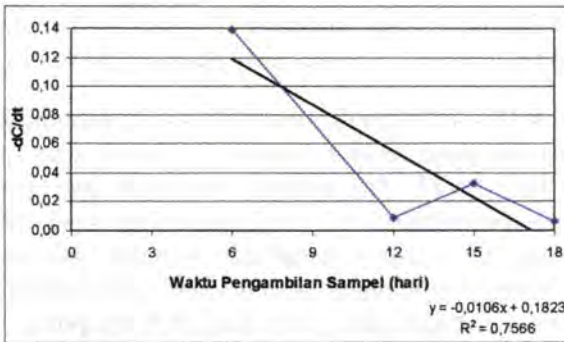
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	2,14	0	0	0
6	0,276	1,864	6	0,311
12	0,199	0,078	6	0,013
15	0,127	0,072	3	0,024
18	0,087	0,040	3	0,013



Gambar 4.30 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L

Tabel 4.18 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Kontrol
Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 1,07 mg/L

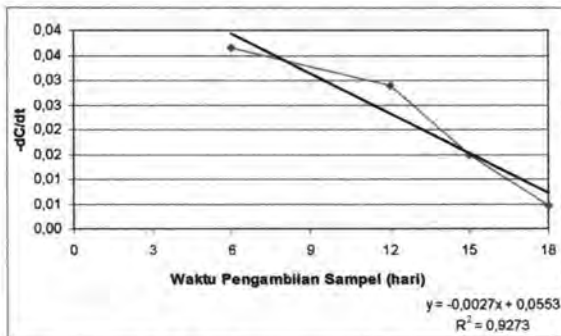
Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	1,07	0	0	0
6	0,236	0,834	6	0,139
12	0,182	0,053	6	0,009
15	0,084	0,098	3	0,033
18	0,065	0,020	3	0,007



Gambar 4.31 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada
Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L

Tabel 4.19 Hasil Penelitian Laju Penurunan Reaktor Kontrol
Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 0,53 mg/L

Hari	C (mg/L)	-dC (mg/L)	dt (hari)	-dC/dt (mg/L.hari)
0	0,53	0	0	0
6	0,310	0,220	6	0,037
12	0,138	0,173	6	0,029
15	0,094	0,044	3	0,015
18	0,080	0,014	3	0,005



Gambar 4.32 Grafik Laju Penurunan Konsentrasi Fenol pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L

Tabel 4.17 - 4.19 dan Gambar 4.30 - 4.32 menunjukkan laju penurunan terbesar pada reaktor kontrol 2,14 mg/L dan 1,07 mg/L terjadi pada hari ke-12 dan semakin menurun hari berikutnya. Sedangkan laju penurunan 0,53 mg/L pada hari ke-6 mengalami penurunan yang tidak terlalu besar dan semakin meningkat hari berikutnya. Hal tersebut menunjukkan aktivitas mikroorganisme dan ganggang yang berbuah-ubah serta pengaruh evaporasi. Dengan mengacu terhadap regresi linier, laju penurunan fenol terbaik pada reaktor uji konsentrasi 0,53 mg/L. Berdasarkan laju penurunan fenol pada reaktor kontrol limbah fenol buatan tidak signifikan di setiap konsentrasi. Selain itu ditunjang pula dari analisis statistik (Lampiran D.4) yang menyimpulkan bahwa efisiensi penurunan fenol tidak signifikan

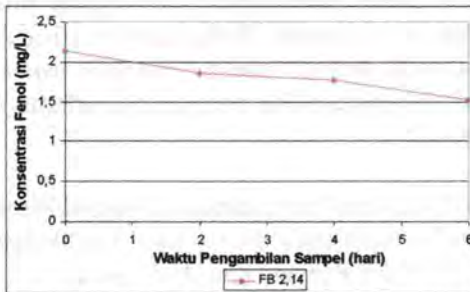
4.3.2.2.2. Penurunan Konsentrasi Fenol pada Limbah Fenol Buatan secara Evaporasi

Evaporasi atau penguapan dari sinar matahari merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan fenol dalam reaktor kontrol. Guna menunjang hasil penelitian, maka dilakukan penelitian tambahan mengenai evaporasi. Penelitian ini dilakukan pada air steril (aquadest) selama 6 hari. Aquadest yang digunakan sebagai air pengencer bertujuan untuk mengetahui penurunan fenol dari hasil

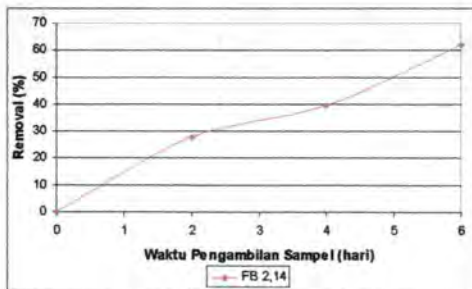
evaporasi tanpa adanya aktivitas mikroorganisme. Hasil penelitian penurunan limbah fenol buatan secara evaporasi dan efisiensinya dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.43- 4.44.

Tabel 4.20 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L

Hari	Konsentrasi Fenol Buatan (mg/L)	Efisiensi Penurunan (%)
0	2,14	0
2	1,860	28,03
4	1,744	39,61
6	1,519	62,09



Gambar 4.33 Grafik Penurunan Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.34 Grafik Efisiensi Penurunan Fenol secara Evaporasi pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,14 mg/L

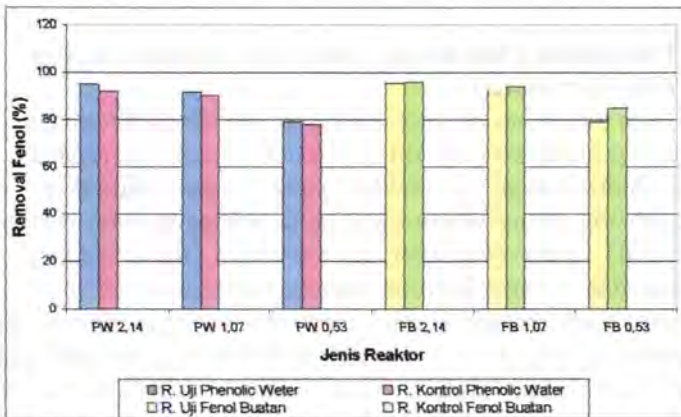
Tabel 4.20 dan Gambar 4.33 - 4.34 menunjukkan bahwa pada penurunan konsentrasi fenol dapat berlangsung secara evaporasi (penguapan) dengan hasil yang signifikan. Pada hari ke-6 menunjukkan bahwa pada limbah fenol buatan konsentrasi 2,14 mg/L mencapai efisiensi penyisihan sebesar 62,09 %. Dengan demikian kayu apu dalam proses pengalihan limbah (*tertiary treatment*) tidak mempunyai peran signifikan dalam menurunkan konsentrasi fenol.

4.3.2.3. Perbandingan Efisiensi Penyisihan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan

Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu dan sistem bioreaktor kontrol dalam menyisihkan fenol pada limbah industri *phenolic water* dan fenol buatan. Perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dilakukan pada akhir pengamatan selama 18 hari dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Penelitian Perbandingan Efisiensi Penurunan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)

Jenis Reaktor	Efisiensi (%)					
	Konsentrasi Limbah <i>Phenolic Water</i> (mg/L)			Konsentrasi Limbah Fenol Buatan (mg/L)		
	2,14	1,07	0,53	2,14	1,07	0,53
Uji	94,88	91,86	79,32	95,58	92,56	79,32
Kontrol	92,07	90,46	77,90	95,93	93,97	84,98



Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Efisiensi Penurunan Fenol pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)

Berdasarkan Tabel 4.21 dan Gambar 4.35 secara keseluruhan menunjukkan bahwa efisiensi penurunan fenol lebih besar terjadi pada limbah fenol buatan dibandingkan pada limbah industri *phenolic water*. Hal ini menunjukkan bahwa pada limbah fenol buatan hanya terkandung senyawa fenol sedangkan pada limbah *phenolic water* terkandung senyawa lain hasil proses gasifikasi batubara yang lebih kompleks, sehingga mikroorganisme lebih mudah mendegradasi limbah fenol buatan. Efisiensi penurunan fenol pada limbah industri *phenolic water* terbesar terjadi pada reaktor uji dengan konsentrasi 2,14 mg/L yaitu sebesar 94,88 %. Hal ini disebabkan pada limbah industri *phenolic water* terdapat simbiosis yang baik antara mikroorganisme dan kayu apu, meskipun peran kayu tidak terlalu signifikan. Sedangkan penurunan fenol terbesar pada limbah fenol buatan terjadi pada reaktor kontrol dengan konsentrasi 2,14 mg/L yaitu sebesar 95,93 %. Hal ini disebabkan adanya mikroorganisme yang cocok dalam mendegradasi fenol dan evaporasi yang besar. Tingkat evaporasi yang besar pada reaktor kontrol terjadi dimungkinkan karena tidak adanya kayu apu yang menghalangi area penguapan.

4.3.3. Penyisihan COD dengan Memanfaatkan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis COD sebagai data penunjang penurunan konsentrasi fenol. Fenol merupakan zat organik (hidrokarbon aromatik) yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme dalam waktu yang lama, sehingga perlu dilakukan analisis COD. Pada penelitian ini analisis COD dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol limbah *phenolic water* dan fenol buatan serta pada reaktor kontrol tanpa penambahan limbah fenol. Hasil penelitian dan analisis penyisihan COD pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat dilihat pada penjelasan sub-bab selanjutnya.

4.3.3.1. Penyisihan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Analisis COD dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* maupun reaktor kontrol tanpa penampahan limbah fenol selama 30 hari. Pada penelitian ini nilai COD awal untuk reaktor uji dan reaktor kontrol setiap variasi konsentrasi limbah fenol tidak sama. Hal ini disebabkan air kolam yang digunakan sebagai air pengencer beraliran kontinyu sehingga tidak dimungkinkan mendapatkan air pengencer dengan COD sama. Penelitian ini bertujuan membandingkan kemampuan sistem bioreaktor kayu apu terhadap reaktor kontrol untuk setiap variasi konsentrasi limbah industri *phenolic water* dan reaktor kontrol tanpa penambahan limbah dalam menurunkan COD. Hasil penelitian pengukuran COD dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Penelitian Penurunan COD pada Limbah Industri
Phenolic Water (mg/L)

Hari	COD (mg/L)						
	Kontrol	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07. Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	80	480	230	180	400	380	320
6	72,8	218,4	163,8	118,3	327,6	236,6	218,4
12	60	190	150	100	260	120	100
15	53,3	160	124,4	88,9	177,8	71,1	71,1
18	40	130	100	80	140	60	60
24	50	110	110	100	50	70	70
30	60	130	120	110	60	100	80

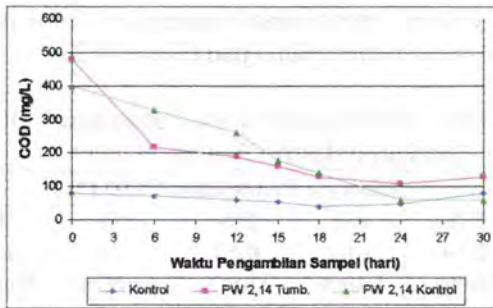
Keterangan :

- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- PW 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- PW 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L

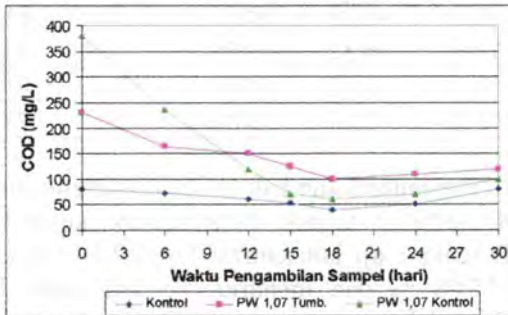
Tabel 4.22 menunjukkan penurunan COD limbah industri *phenolic water* terjadi pada reaktor uji dan reaktor kontrol, tetapi setelah hari ke-24 COD mengalami peningkatan kembali. COD awal reaktor kontrol tanpa penambahan limbah fenol sebesar 80 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 mencapai 40 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 60 mg/L. Reaktor

uji konsentrasi fenol 2,14 mg/L memiliki COD awal sebesar 480 mg/L mengalami penurunan terbesar hingga hari ke-24 mencapai 110 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 130 mg/L. COD awal reaktor uji konsentrasi fenol 1,07 mg/L sebesar 230 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 mencapai 110 mg/L dan meningkat kembali hingga hari ke-30 menjadi 120 mg/L. Reaktor uji konsentrasi fenol 0,53 mg/L memiliki COD awal sebesar 180 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 mencapai 80 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 110 mg/L. COD awal reaktor kontrol konsentrasi fenol 2,14 mg/L sebesar 400 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-24 mencapai 50 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 60 mg/L. Reaktor kontrol konsentrasi fenol 1,07 mg/L memiliki COD awal sebesar 380 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 mencapai 60 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-24 dan hari ke-30 menjadi 100 mg/L. Sedangkan COD awal reaktor kontrol konsentrasi fenol 0,53 mg/L sebesar 320 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-24 mencapai 60 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 80 mg/L.

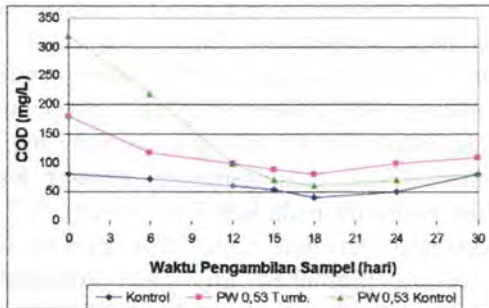
Pada penelitian ini penurunan COD mengalami peningkatan kembali setelah hari ke-18 dan 24 pada sejumlah reaktor uji dan kontrol. Pada reaktor uji dan reaktor kontrol tanpa penambahan limbah fenol dimungkinkan kehabisan nutrien pada media tanam sehingga pertumbuhan kayu apu menjadi layu dan mati. Hal ini menyebabkan zat-zat organik yang telah terserap kayu apu terlepas kembali. Selain itu juga dipengaruhi oleh tubuh kayu apu yang termasuk bahan organik yang mati terhanyut dalam media tanam, sehingga COD dalam media tanam meningkat. Sedangkan pada reaktor kontrol dimungkinkan mikroorganisme mengalami kejenuhan dalam mendegradasi bahan organik dan zat-zat organik yang telah diserap ganggang terlepas kembali serta masuknya bahan organik dari luar bioreaktor. Guna memudahkan pembahasan mengenai perbandingan penurunan COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol limbah industri *phenolic water* serta reaktor kontrol tanpa penambahan limbah fenol dapat dilihat pada Gambar 4.6 - 4.8.



Gambar 4.36 Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 2,14 mg/L



Gambar 4.37 Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 1,07 mg/L



Gambar 4.38 Grafik Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 0,53 mg/L

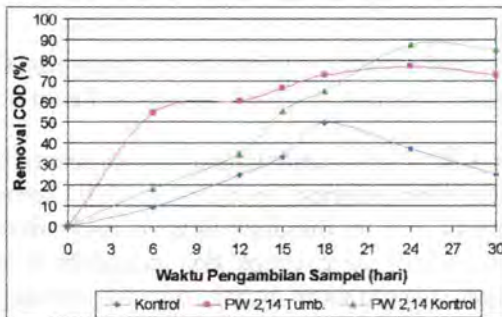
Adapun tingkat efisiensi penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water*

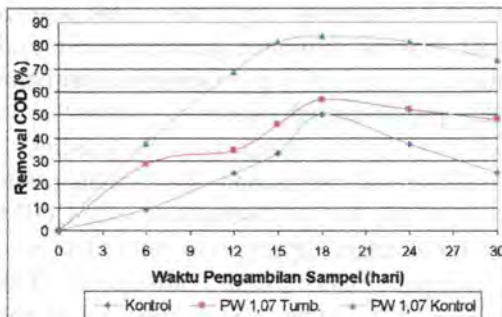
Hari	Efisiensi Penurunan COD (%)						
	Kontrol	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	0	0	0	0	0	0	0
6	9	54,50	28,78	34,28	18,10	37,74	31,75
12	25	60,42	34,78	44,44	35	68,42	68,75
15	33,33	66,67	45,89	50,61	55,55	81,29	77,78
18	50	72,92	56,52	55,56	65	84,21	81,25
24	37,5	77,08	52,17	44,44	88	81,58	78
30	25	72,92	47,83	38,89	85	73,68	75

Tabel 4.23 menunjukkan bahwa secara keseluruhan efisiensi penurunan COD terbesar terjadi pada reaktor kontrol. Efisiensi penurunan COD reaktor uji konsentrasi fenol 2,14 mg/L pada hari ke-24 sebesar 77,08 % dan menurun kembali pada hari ke-30 menjadi 72,92 %. Efisiensi penurunan COD reaktor uji konsentrasi fenol 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L mencapai maksimal pada hari ke-18, masing-masing sebesar 56,52 % dan 55,56 % dan menurun kembali pada hari ke-30 menjadi 47,83 % dan 38,89 %. Efisiensi penurunan COD reaktor kontrol konsentrasi fenol 2,14 mg/L mengalami peningkatan pada hari ke-24 mencapai 88 % dan menurun kembali pada hari ke-30 menjadi 85 %. Sedangkan efisiensi penurunan COD reaktor kontrol konsentrasi fenol 1,07 mg/L dan 0,53 mg/L mencapai maksimal pada hari ke-18, masing-masing sebesar 84,21 % dan 81,25 % kemudian menurun pada hari ke-30 menjadi 73,68 % dan 75 %. Hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan uji) pada konsentrasi limbah industri *phenolic water* 2,14 mg/L mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan reaktor uji. Efisiensi penurunan COD reaktor

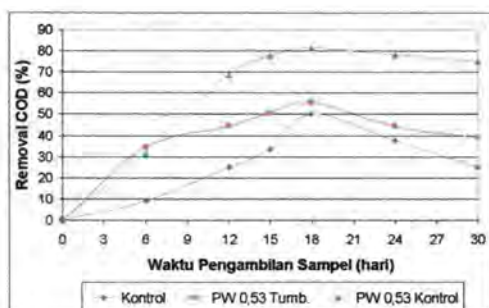
kontrol tanpa penambahan limbah fenol pada hari ke-18 mencapai maksimal sebesar 50 % dan menurun menjadi 25 % pada hari ke-30. Kematian sejumlah kayu apu berpengaruh dalam menurunkan efisiensi COD pada hari ke-18 dan 24. Kematian kayu apu disebabkan tidak adanya penambahan nutrisi selama masa penelitian dan faktor pemanenan. Efisiensi penurunan COD dapat dilihat pada Gambar 4.39 - 4.41.



Gambar 4.39 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 2,14 mg/L



Gambar 4.40 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 1,07 mg/L



Gambar 4.41 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 0,53 mg/L

Gambar 4.39 – 4.41 menunjukkan bahwa secara keseluruhan hingga akhir penelitian efisiensi penurunan COD terbesar terjadi pada reaktor kontrol. Hal ini dimungkinkan adanya mikroorganisme air pada reaktor kontrol yang cocok dan mempunyai kemampuan yang besar dalam menguraikan bahan organik sehingga efisiensi penurunan COD lebih baik dibandingkan reaktor uji. Selain itu ditunjang pula simbiosis yang baik antara mikroorganisme dan ganggang pada reaktor kontrol. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kemampuan kayu apu tidak signifikan dalam menurunkan COD. Hal ini ditunjang pula dari kesimpulan analisis statistik (lampiran D.5 dan D.6) yang menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD pada limbah industri *phenolic water* tidak signifikan baik pada reaktor uji maupun reaktor kontrol.

Pada penelitian ini penurunan fenol tidak selalu berkaitan terhadap penurunan COD. Hal ini disebabkan nilai COD tidak hanya dipengaruhi oleh fenol tetapi dipengaruhi pula oleh zat-zat organik lainnya yang terdapat pada sistem bioreaktor. Tidak adanya penambahan nutrisi dan faktor pemanenan yang menyebabkan kematian sejumlah kayu apu juga mempengaruhi peningkatan COD. Efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol lebih besar dibandingkan efisiensi penurunan COD. Hal ini dimungkinkan penurunan fenol lebih besar terjadi karena faktor evaporasi. Selain itu pada limbah industri terdapat senyawa lain yang mempengaruhi



penurunan COD serta dimungkinkan kemampuan mikroorganisme lebih besar dalam menguraikan senyawa fenol dibandingkan senyawa organik lainnya.

4.3.3.2 Penyisihan COD pada Limbah Fenol Buatan

Analisis COD pada fenol buatan dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol selama 30 hari. Pada penelitian ini nilai COD awal berbeda pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Hal ini disebabkan air kolam yang digunakan sebagai air pengencer beraliran kontinyu sehingga tidak dimungkinkan mendapatkan air pengencer dengan COD sama. Hasil analisis COD pada limbah fenol buatan dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hasil Penelitian Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan (mg/L)

Hari	COD (mg/L)						
	Kontrol	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	80	220	180	160	240	200	160
6	72,8	145,6	145,6	109,2	127,4	127,4	109,2
12	60	110	100	70	80	100	80
15	53,3	80	80	53,3	53,3	88,9	71,1
18	40	60	60	30	40	60	60
24	50	70	50	40	60	70	40
30	60	80	40	50	100	80	60

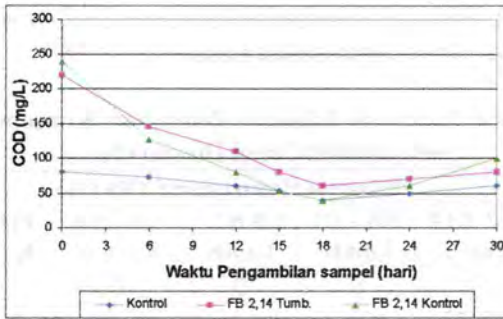
Keterangan :

- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- FB 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L
- FB 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L

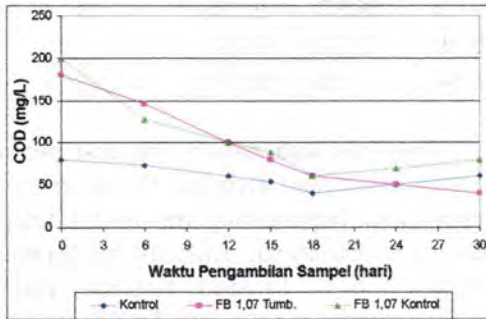


- FB 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L

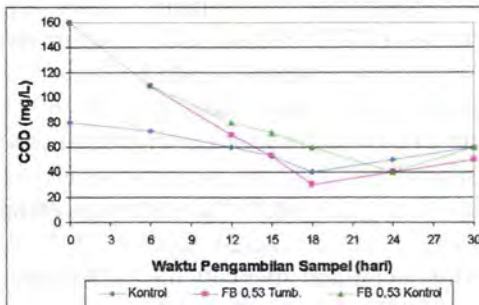
Tabel 4.24 menunjukkan bahwa penurunan COD pada limbah fenol buatan terjadi pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Reaktor kontrol tanpa penambahan limbah fenol memiliki COD awal sebesar 80 mg/L mengalami penurunan pada hari ke-18 terbesar menjadai 40 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-24 dan 30 menjadi 60 mg/L. Nilai COD awal reaktor uji konsentrasi fenol 2,14 mg/L sebesar 220 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 menjadi 60 mg/L dan dan meningkat kembali hingga akhir penelitian menjadi 80 mg/L. Nilai COD awal reaktor uji konsentrasi fenol 1,07 mg/L sebesar 180 mg/L mengalami penurunan selama masa penelitian dan meningkat kembali hingga hari ke-30 menjadi 40 mg/L. Reaktor uji konsentrasi fenol 0,53 mg/L memiliki COD awal reaktor uji sebesar 160 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 menjadi 30 mg/L dan dan meningkat kembali hingga akhir penelitian menjadi 50 mg/L. Nilai COD awal reaktor kontrol konsentrasi fenol 2,14 mg/L sebesar 240 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 menjadi 40 mg/L dan meningkat kembali hingga akhir penelitian menjadi 100 mg/L. Reaktor kontrol konsentrasi fenol 1,07 mg/L memiliki COD awal reaktor uji sebesar 200 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-18 menjadi 60 mg/L dan meningkat kembali hingga akhir penelitian menjadi 80 mg/L. Nilai COD awal reaktor kontrol konsentrasi fenol 0,53 mg/L sebesar 160 mg/L mengalami penurunan terbesar pada hari ke-24 menjadi 40 mg/L dan meningkat kembali pada hari ke-30 menjadi 60 mg/L. Hasil penurunan konsentrasi fenol pada limbah fenol buatan dari Tabel 4.23 dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.42 – 4.44.



Gambar 4.42 Grafik Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 2,14 mg/L



Gambar 4.43 Grafik Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 1,07 mg/L



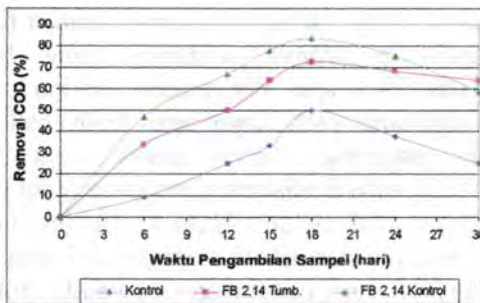
Gambar 4.44 Grafik Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 0,53 mg/L

Adapun tingkat efisiensi penurunan konsentrasi COD pada limbah industri *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.25.

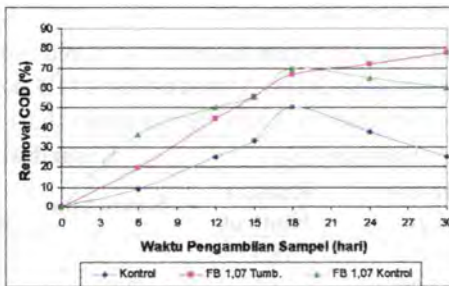
Tabel 4.25 Hasil Penelitian Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan (%)

Hari	Efisiensi Penurunan COD (%)						
	Kontrol	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	0	0	0	0	0	0	0
6	9	33,82	19,11	31,75	46,92	36,30	31,75
12	25	50	44,44	56,25	66,67	50	50
15	33,33	63,64	55,56	66,69	77,79	55,55	55,56
18	50	72,73	66,67	81,25	83,33	70	62,50
24	37,5	68,18	72,22	75,00	75	65	75
30	25	63,64	77,78	68,75	58,33	60	63

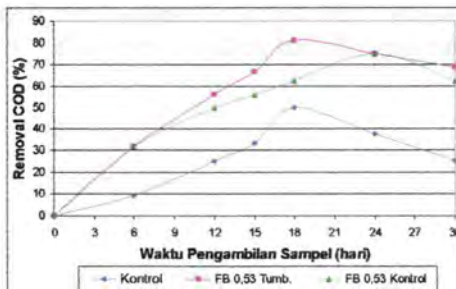
Tabel 4.25 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD terbesar hingga akhir penelitian terbesar terjadi pada reaktor uji. Efisiensi penurunan COD berlangsung meningkat tetapi pada hari ke-18 dan 24 mengalami penurunan. Efisiensi penurunan COD pada reaktor uji konsentrasi fenol 2,14 mg/L terbesar pada hari ke-18 sebesar 72,73 % dan menurun pada hari ke-30 menjadi 63,64 %, sedangkan efisiensi terbesar pada reaktor kontrol pada hari ke-18 mencapai 83,33 % dan menurun hingga akhir penelitian menjadi 58,33 %. Efisiensi penurunan COD pada reaktor uji konsentrasi fenol 1,07 mg/L terbesar 77,78 % pada akhir pengamatan sedangkan efisiensi terbesar pada reaktor kontrol pada hari ke-18 sebesar 70 % dan menurun hingga akhir penelitian menjadi 60 %. Efisiensi terbesar penurunan COD pada reaktor uji konsentrasi fenol 0,53 mg/L pada hari ke-18 sebesar 81,25 % dan menurun kembali hingga akhir penelitian hari ke-30 menjadi 68,75 %, sedangkan efisiensi terbesar pada reaktor kontrol pada hari ke-24 sebesar 75 % dan menurun kembali hingga akhir penelitian menjadi 63 %. Efisiensi penurunan COD dapat dilihat pada Gambar 4.45 - 4.47.



Gambar 4.45 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 2,14 mg/L



Gambar 4.46 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 1,07 mg/L



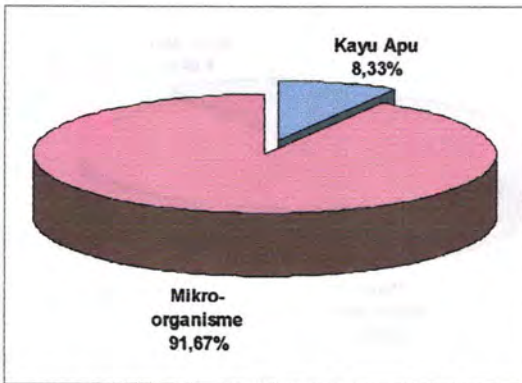
Gambar 4.47 Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi Fenol 0,53 mg/L

Gambar 4.45 – 4.47 menunjukkan bahwa secara keseluruhan hingga akhir penelitian efisiensi penurunan COD terbesar terjadi pada reaktor uji untuk setiap variasi konsentrasi limbah fenol buatan. Hal ini dimungkinkan adanya simbiosis yang baik antara mikroorganisme dan kayu apu. Penyerapan ion-ion organik hasil degradasi mikroorganisme oleh kayu apu lebih baik dibanding penyerapan oleh ganggang. Tetapi peran kayu apu dalam menurunkan COD dari selisih efisiensi penurunan fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol tidak cukup signifikan. Hal ini ditunjang pula dari kesimpulan analisis statistik (Lampiran D.7 dan D.8) yang menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD pada limbah industri *phenolic water* tidak signifikan baik pada reaktor uji maupun reaktor kontrol. Kontribusi kayu apu dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.48 – 4.50.

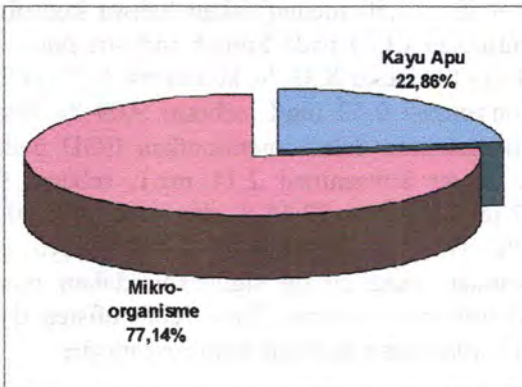
Tabel 4.26 Hasil Penelitian Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)

Jenis Reaktor	Efisiensi (%)		Kontribusi (%)	
	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol	Kayu Apu	Mikro-organisme
FB 2,14	63,64	58,33	8,33	91,67
FB 1,07	77,78	60	22,86	77,14
FB 0,53	68,75	63	9,09	90,91

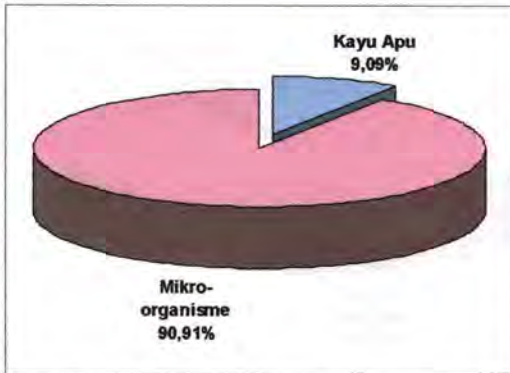
Kontribusi kayu apu dan mikroorganisme tiap konsentrasi limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.48 – 4.49.



Gambar 4.48 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L



Gambar 4.49 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 1,07mg/L



Gambar 4.50 Grafik Prosentase Kontribusi Kayu Apu dan Mikroorganisme dalam Menurunkan COD pada Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L

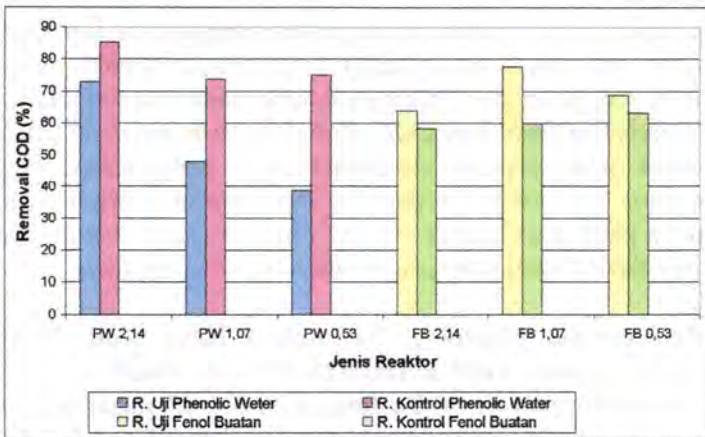
Gambar 4.48 – 4.50 menunjukkan bahwa kontribusi kayu apu dalam menurunkan COD pada limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 8,33 %, konsentrasi 1,07 mg/L sebesar 22,86 % dan konsentrasi 0,53 mg/L sebesar 9,09 %. Sedangkan kontribusi mikroorganisme dalam menurunkan COD pada limbah industri *phenolic water* konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 91,67 %, konsentrasi 1,07 mg/L sebesar 77,14 % dan konsentrasi 0,53 mg/L sebesar 90,91 %. Hal ini menunjukkan bahwa kayu apu tidak memiliki kemampuan yang cukup signifikan dalam menurunkan fenol. Dengan demikian penurunan fenol lebih efisien dan efektif dilakukan hanya berdasarkan aktivitas mikroorganisme.

4.3.3.3. Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan

Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan sistem bioreaktor kayu apu dalam menyisihkan COD pada limbah industri *phenolic water* dan fenol buatan. Perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dilakukan pada akhir pengamatan selama 30 hari dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Hasil Penelitian Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-30)

Jenis Reaktor	Efisiensi (%)					
	Konsentrasi Limbah <i>Phenolic Water</i> (mg/L)			Konsentrasi Limbah Fenol Buatan (mg/L)		
	2,14	1,07	0,53	2,14	1,07	0,53
Uji	72,92	47,83	38,89	63,64	77,78	68,75
Kontrol	85	73,68	75	58,33	60	63



Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Efisiensi Penurunan COD pada Limbah Industri *Phenolic Water* dan Limbah Fenol Buatan di Akhir Pengamatan (hari ke-18)

Berdasarkan Tabel 4.27 dan Gambar 4.51 secara keseluruhan menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD lebih besar terjadi pada limbah fenol buatan dibandingkan pada limbah industri *phenolic water*. Hal ini menunjukkan bahwa pada limbah *phenolic water* tidak hanya terkandung senyawa fenol tetapi juga senyawa lain hasil proses gasifikasi batubara yang lebih kompleks, sehingga memiliki kandungan COD awal yang lebih tinggi. Dengan demikian mikroorganisme lebih sulit dalam mendegradasi zat-zat

organik pada limbah industri *phenolic water*. Efisiensi penurunan COD pada limbah industri *phenolic water* terbesar terjadi pada reaktor kontrol konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 85 %. Sedangkan penurunan COD terbesar pada limbah fenol buatan terjadi pada reaktor uji konsentrasi 2,14 mg/L sebesar 63,64 %. Hal ini dimungkinkan adanya simbiosis yang baik antara mikroorganisme dan kayu apu meskipun peran kayu tidak terlalu signifikan.

4.3.4. Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Keterkaitan pertumbuhan dan perkembangbiakan kayu apu pada reaktor uji dan kontrol tanpa penambahan limbah serta pertumbuhan ganggang dan mikroorganisme pada reaktor kontrol terhadap penyisihan fenol dan COD limbah industri *phenolic water* dapat terlihat jelas dengan visualisasi hasil pengamatan yang dilakukan pada hari ke-0, 18 dan 30. Pengamatan morfologi ini selengkapnya pada jenis limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat dilihat pada penjelasan sub-bab selanjutnya.

4.3.4.1. Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Penurunan fenol dan COD hingga hari ke-18 menunjukkan efisiensi penurunan yang baik, tetapi pada pengukuran COD hari ke-24 dan 30 mengalami peningkatan kembali. Hal ini disebabkan sejumlah kayu apu mengalami kematian. Kematian sejumlah kayu apu ini disebabkan nutrisi pertumbuhan dalam media tanam telah habis, karena pada penelitian digunakan sistem *batch* tanpa adanya penambahan nutrisi (pupuk NPK) selama pelaksanaan penelitian. Adanya pertumbuhan anakan baru tanpa diiringi pemanenan menyebabkan kayu apu saling tumpang inih dan mati. Foto hasil pengamatan morfologi kayu apu dan pertumbuhan ganggang pada limbah industri *phenolic water* pada hari ke-0, 6 dan 18 dapat dilihat pada Gambar 4.23 - 4.29.



(a) Reaktor Kontrol Tanpa Limbah Hari ke-0 (b) Reaktor Kontrol Tanpa Limbah Hari ke-18 (c) Reaktor Kontrol Tanpa Limbah Hari ke-30

Gambar 4.52 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Tanpa Penambahan Limbah Industri *Phenolic Water* pada Hari ke-0, 18 dan 30



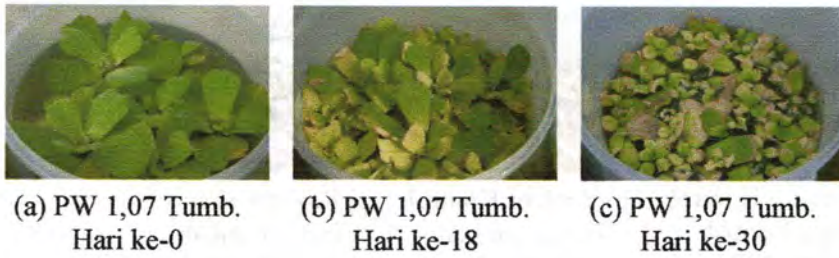
(a) PW 2,14 Tumb. Hari ke-0 (b) PW 2,14 Tumb. Hari ke-18 (c) PW 2,14 Tumb. Hari ke-30

Gambar 4.53 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) PW 2,14 Kontrol Hari ke-0 (b) PW 2,14 Kontrol Hari ke-18 (c) PW 2,14 Kontrol Hari ke-30

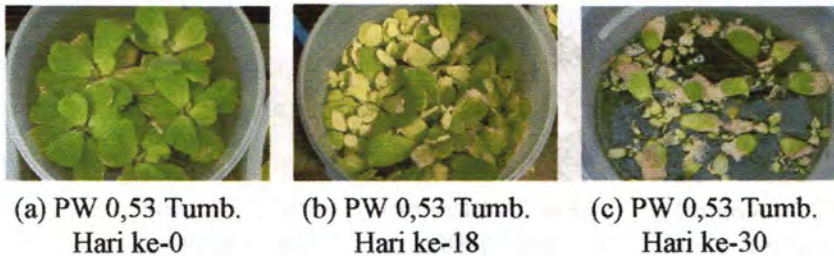
Gambar 4.54 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* 2,14 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



Gambar 4.55 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri *Phenolic Water* 1,07 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



Gambar 4.56 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri *Phenolic Water* 1,07 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



Gambar 4.57 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Industri *Phenolic Water* 0,53 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) PW 0,53 Kontrol
Hari ke-0

(b) PW 0,53 Kontrol
Hari ke-18

(c) PW 0,53 Kontrol
Hari ke-30

Gambar 4.58 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Industri
Phenolic Water 0,53 mg/L pada Hari ke-0, 6 dan 18

4.3.4.2. Pengamatan Morfologi Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) pada Limbah Fenol Buatan

Pengamatan morfologi kayu apu pada reaktor uji dan reaktor kontrol tanpa penambahan limbah dan pengamatan pertumbuhan ganggang pada reaktor kontrol limbah fenol buatan pada hari ke-0, 18 dan 30 dapat dilihat pada Gambar 4.54 - 4.60.

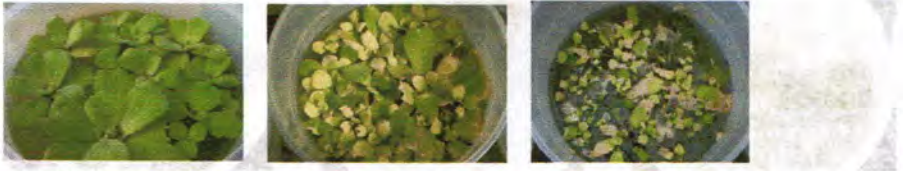


(a) Reaktor Kontrol
Tanpa Limbah
Hari ke-0

(b) Reaktor Kontrol
Tanpa Limbah
Hari ke-18

(c) Reaktor Kontrol
Tanpa Limbah
Hari ke-30

Gambar 4.59 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Tanpa Penambahan
Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) FB 2,14 Tumb. Hari ke-0 (b) FB 2,14 Tumb. Hari ke-18 (c) FB 2,14 Tumb. Hari ke-30

Gambar 4.60 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) FB 2,14 Kontrol Hari ke-0 (b) FB 2,14 Kontrol Hari ke-18 (c) FB 2,14 Kontrol Hari ke-30

Gambar 4.61 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 2,14 mg/L pada Hari ke-0, 6 dan 18



(a) FB 1,07 Tumb. Hari ke-0 (b) FB 1,07 Tumb. Hari ke-18 (c) FB 1,07 Tumb. Hari ke-30

Gambar 4.62 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) FB 1,07 Kontrol Hari ke-0 (b) FB 1,07 Kontrol Hari ke-18 (c) FB 1,07 Kontrol Hari ke-30

Gambar 4.63 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 1,07 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) FB 0,53 Kontrol Hari ke-0 (b) FB 0,53 Tumb. Hari ke-18 (c) FB 0,53 Tumb. Hari ke-30

Gambar 4.64 Hasil Pengamatan Reaktor Uji Kayu Apu Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L pada Hari ke-0, 18 dan 30



(a) FB 0,53 Kontrol Hari ke-0 (b) FB 0,53 Kontrol Hari ke-18 (c) FB 0,53 Kontrol Hari ke-30

Gambar 4.65 Hasil Pengamatan Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan 0,53 mg/L pada Hari ke-0, 6 dan 18

4.3.5. Pengukuran pH

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pH pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan. Pengukuran pH ini bertujuan untuk mengetahui pada range pH berapakah penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat berlangsung. Pengukuran pH dilakukan setiap hari dengan menggunakan alat pH meter. Hasil pengukuran pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat dilihat selengkapnyanya pada sub-bab selanjutnya.

4.3.5.1. Pengukuran pH pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Pengukuran pH limbah industri *phenolic water* dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol setiap hari selama pelaksanaan penelitian. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Pengukuran pH Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari	Nilai pH						
	Kontrol	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	7,44	7,52	7,70	7,57	7,77	7,86	7,89
1	7,54	7,85	7,84	7,68	7,93	8,00	8,02
2	7,75	7,73	7,89	7,89	8,05	8,11	8,25
5	7,84	8,11	8,29	8,01	8,43	8,46	8,45
6	7,28	7,52	7,60	7,32	8,21	8,36	8,24
7	7,37	7,46	7,50	7,38	8,42	8,55	8,35
8	7,34	7,47	7,41	7,43	8,43	8,51	8,24
9	7,29	7,56	7,64	7,63	8,51	8,50	8,19
12	7,44	7,90	7,65	8,75	8,38	8,81	8,90
13	7,65	7,98	7,82	8,12	8,85	8,84	8,96
14	7,49	7,71	7,85	7,77	8,78	8,71	8,83
15	7,38	7,58	7,92	7,60	8,31	8,52	8,84
16	7,58	7,72	7,93	7,85	8,26	8,00	8,86
19	7,45	7,61	8,03	7,70	8,11	7,86	8,73
20	7,19	7,53	8,03	7,47	8,19	7,78	8,47

Tabel 4.28 Hasil Pengukuran pH Limbah Industri *Phenolic Water*
(lanjutan)

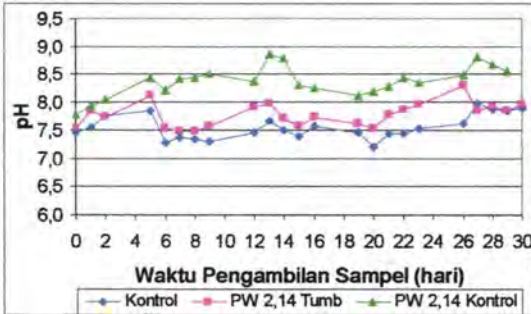
Hari	Nilai pH						
	Kontrol	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
21	7,43	7,78	8,11	7,62	8,27	7,94	8,55
22	7,43	7,86	8,15	7,76	8,45	8,07	8,38
23	7,53	7,95	8,18	7,87	8,36	8,17	8,45
26	7,62	8,31	8,13	8,20	8,48	8,62	8,73
27	7,98	7,84	7,84	7,87	8,82	8,86	8,79
28	7,86	7,92	7,62	7,96	8,66	8,94	8,94
29	7,84	7,84	7,49	7,92	8,56	8,83	8,82
30	7,89	7,96	7,49	7,66	8,69	8,71	8,79

*) Penelitian ini dilakukan selama 30 hari. Tetapi waktu pengambilan sampel dan pengukuran pH hanya dapat dilakukan pada hari Senin - Jum'at.

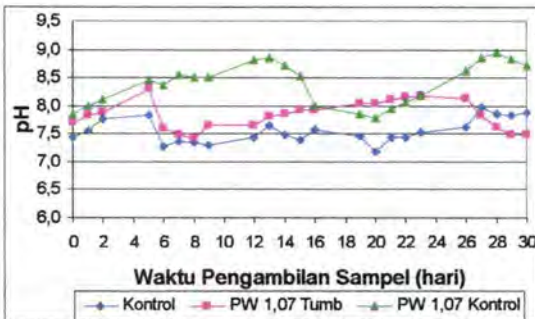
Keterangan :

- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- PW 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- PW 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L

Tabel 4.28 menunjukkan bahwa penurunan fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water* berlangsung pada rentang pH 7 - 9. Hasil pengukuran pH untuk tiap konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.66- 4.68.

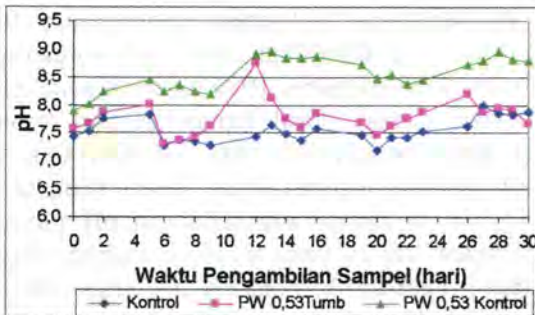


Gambar 4.66 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 2,14 mg/L



Gambar 4.67 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 1,07 mg/L





Gambar 4.68 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Industri *Phenolic Water* Konsentrasi Fenol 0,53 mg/L

Tabel 4.28 dan Gambar 4.66 - 4.68 menunjukkan bahwa penurunan fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water* berlangsung pada rentang pH 7 - 9. Nilai pH pada reaktor uji masih memenuhi rentang kriteria pH optimum pertumbuhan kayu apu, yaitu antara 6,5 - 8 (Mercado, 1975 dalam Dewi, 2000). Nilai pH cenderung berfluktuasi dimana terjadi kenaikan pH pada hari ke-12 dan penurunan pH pada hari ke-24. Hasil pengukuran pH yang didapat tidak berfluktuasi. Hal ini dimungkinkan karena air pengencer yang berasal dari saluran Semolowaru mempunyai kecenderungan bersifat buffer dalam mempertahankan pH, sehingga kenaikan dan penurunan pH tidak terjadi terlalu jauh.

Derajat keasamaan (pH) ditunjukkan oleh konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan. Skala pH merupakan identitas aciditas (keasamaan) atau alkalinitas dari suatu sampel yang menunjukkan keberadaan ion hidrogen. Penurunan pH pada media tanam diduga terjadi karena peningkatan penggunaan CO_2 dalam proses fotosintesis, CO_2 diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari sinar matahari., sedangkan ion hidrogen (H^+) diperoleh dari media tanam dan dari udara. Pengambilan ion H^+ dari media akan tersebut akan menurunkan pH. Penurunan nilai pH pada setiap reaktor juga karena efek kayu apu yang dapat menurunkan pH media (Mercado, 1975 dalam Dewi, 2000).



Selain itu penurunan pH pada media dapat disebabkan karena adanya gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang terdapat pada media (Dwijoseputro, 1980 dalam Suronegoro, 2006). Gas-gas yang timbul sebagai hasil fermentasi dan respirasi oleh mikroorganisme dapat berupa CO_2 dan H_2 . Gas CO_2 terbentuk sebagai zat hasil proses respirasi, baik aerob maupun anaerob. Adanya gas CO_2 dalam larutan menyebabkan pH turun menjadi lebih asam. Sedangkan gas H_2 yang timbul bersamaan dengan CO_2 sebagai akibat dari penguraian karbohidrat atau asam amino. Gas ini dapat menaikkan nilai pH.

4.3.5.2. Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan

Pengukuran pH limbah fenol buatan dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol setiap hari selama pelaksanaan penelitian. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Hasil Pengukuran pH Limbah Fenol Buatan

Hari	Nilai pH						
	Kontrol	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	7,44	7,62	7,55	7,57	7,98	7,52	8,04
1	7,54	7,81	7,91	7,82	8,06	7,97	8,34
2	7,75	8,22	8,34	8,22	8,42	8,31	8,47
5	7,84	8,18	8,16	8,10	8,46	8,20	8,49
6	7,28	7,60	7,55	7,57	8,31	8,09	8,32
7	7,37	7,58	7,63	7,56	8,39	8,24	8,36
8	7,34	8,40	7,30	7,27	8,32	8,13	8,24
9	7,29	8,39	7,54	7,47	8,48	8,18	8,34
12	7,44	7,99	8,37	8,29	8,61	8,68	8,73
13	7,65	8,03	8,49	8,34	8,72	8,62	8,72
14	7,49	8,31	8,22	8,11	8,76	8,43	8,54
15	7,38	8,07	8,02	7,94	8,41	8,92	8,36
16	7,58	8,23	8,72	8,29	8,82	8,78	8,45
19	7,45	8,20	8,58	8,18	8,61	8,63	8,31

Tabel 4.29 Hasil Pengukuran pH Limbah Fenol Buatan (lanjutan)

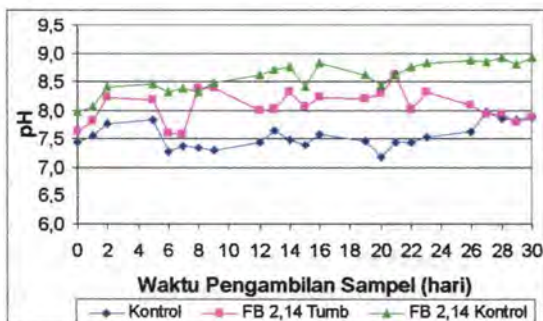
Hari	Nilai pH						
	Kontrol	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
20	7,19	8,30	8,33	7,90	8,44	8,46	8,42
21	7,43	8,62	8,45	8,04	8,61	8,58	8,59
22	7,43	8,03	8,41	8,00	8,75	8,24	8,33
23	7,53	8,31	8,51	8,10	8,83	8,34	8,41
26	7,62	8,08	8,24	8,40	8,87	8,52	8,68
27	7,98	7,93	8,18	7,95	8,84	8,65	8,69
28	7,86	7,93	8,13	8,03	8,91	8,73	8,65
29	7,84	7,80	8,16	8,02	8,80	8,54	8,54
30	7,89	7,88	8,17	7,98	8,92	8,77	8,69
20	7,19	8,30	8,33	7,90	8,44	8,46	8,42

*) Penelitian ini dilakukan selama 30 hari. Tetapi waktu pengambilan sampel dan pengukuran pH hanya dapat dilakukan pada hari Senin - Jum'at.

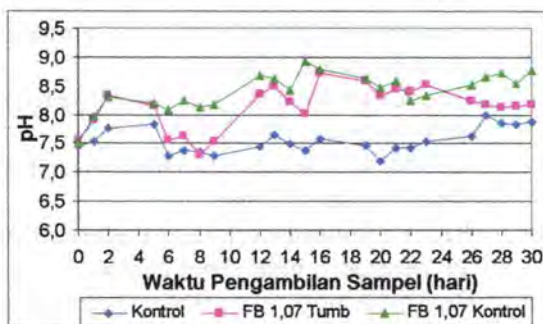
Keterangan :

- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- FB 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L
- FB 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L

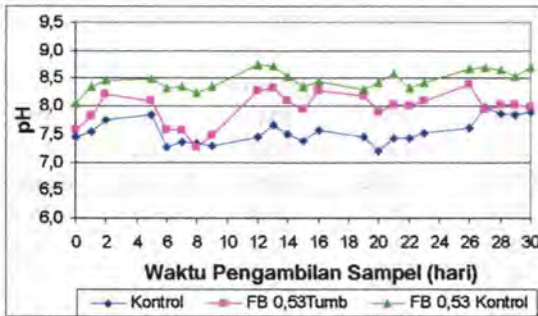
Tabel 4.29 menunjukkan bahwa penurunan fenol dan COD pada limbah fenol buatan dapat berlangsung pada pH 7 - 9. Dengan demikian penurunan fenol dan COD pada kedua jenis limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* berlangsung pada rentang pH pada limbah Hasil pengukuran pH untuk tiap konsentrasi limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.69- 4.71.



Gambar 4.69 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.70 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 1,07 mg/L



Gambar 4.71 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 0,53 mg/L

4.3.6. Pengukuran Temperatur

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran temperatur pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan. Pengukuran temperatur ini bertujuan untuk mengetahui pada range temperatur berapakah penurunan konsentrasi fenol pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat berlangsung. Pengukuran temperatur ini dilakukan setiap hari bersamaan pengukuran pH dengan menggunakan alat pH meter. Hasil pengukuran pada limbah industri *phenolic water* dan limbah fenol buatan dapat dilihat selengkapnya pada sub-bab selanjutnya.

4.3.6.1. Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri *Phenolic Water*

Pengukuran temperatur limbah industri *phenolic water* dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol setiap hari selama penelitian. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Hasil Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri
Phenolic Water

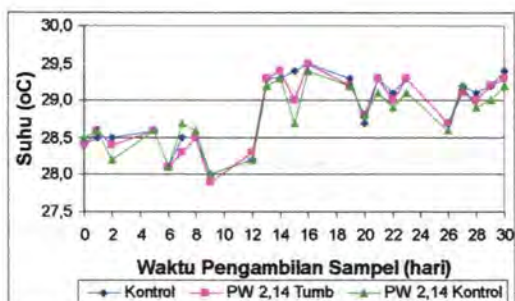
Hari	Temperatur (°C)						
	Kontrol	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	28,4	28,4	28,4	28,4	28,5	28,4	28,4
1	28,5	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,5
2	28,5	28,4	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2
5	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,7	28,7
6	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0	28,1
7	28,5	28,3	28,5	28,6	28,7	28,8	28,8
8	28,5	28,5	28,5	28,5	28,6	28,6	28,6
9	28,0	27,9	27,9	27,9	28,0	28,0	28,0
12	28,2	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,3
13	29,3	29,3	29,3	29,2	29,2	29,1	29,1
14	29,3	29,4	29,4	29,4	29,3	29,3	29,3
15	29,4	29,0	28,7	28,7	28,7	28,8	28,8
16	29,5	29,5	29,5	29,4	29,4	29,4	29,4
19	29,3	29,2	29,2	29,3	29,2	29,1	29,2
20	28,7	28,8	28,7	28,8	28,8	28,7	28,7
21	29,3	29,3	29,2	29,2	29,1	29,1	29,0
22	29,1	29,0	29,1	29,0	28,9	28,8	28,8
23	29,3	29,3	29,2	29,1	29,1	29,2	29,1
26	28,7	28,7	28,6	28,6	28,6	28,6	28,7
27	29,2	29,1	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
28	29,1	29,0	29,0	29,1	28,9	28,9	28,8
29	29,2	29,2	29,1	29,1	29,0	29,1	29,1
30	29,4	29,3	29,3	29,3	29,2	29,3	29,3

*) Penelitian ini dilakukan selama 30 hari. Tetapi waktu pengambilan sampel dan pengukuran Temperatur hanya dapat dilakukan pada hari Senin - Jum'at.

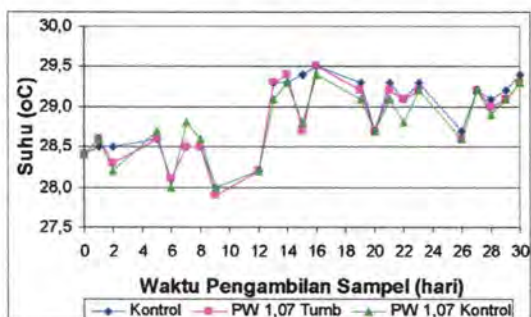
Keterangan :

- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- PW 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- PW 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- PW 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- PW 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L

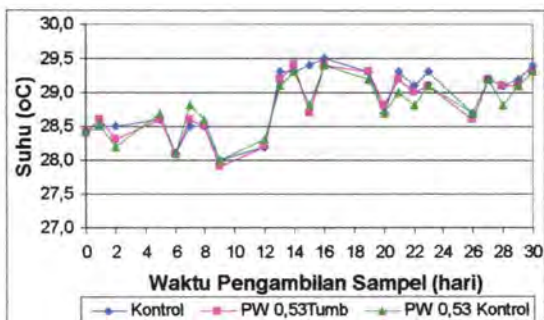
Pengukuran temperatur dilakukan bersamaan pengukuran pH dengan menggunakan alat pH meter. Pengukuran temperatur dilakukan pada reaktor uji dan kontrol tiap variasi konsentrasi limbah industri *phenolic water* serta pada reaktor kontrol tanpa penambahan limbah. Tujuan pengukuran temperatur untuk mengetahui keterkaitan temperatur terhadap pertumbuhan kayu apu dan mikroorganisme air yang berperan dalam penurunan fenol. Hasil pengukuran temperatur pada semua reaktor cenderung sama dalam satu hari pengamatan. Sedangkan hasil pengukuran temperatur selama penelitian berada dalam rentang temperatur normal, yaitu antara 28-29,5°C. Agar lebih jelasnya hasil pengukuran temperatur untuk reaktor uji dan kontrol tiap variasi konsentrasi limbah dapat dilihat pada Gambar 4.72 - 4.74.



Gambar 4.72 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri *Phenolic Water* dengan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.73 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri *Phenolic Water* dengan Konsentrasi 1,07 mg/L



Gambar 4.74 Grafik Pengukuran Temperatur pada Limbah Industri *Phenolic Water* dengan Konsentrasi 0,53 mg/L

4.3.6.2. Pengukuran Temperatur pada Limbah Fenol Buatan

Pengukuran temperatur limbah fenol buatan dilakukan pada reaktor uji dan reaktor kontrol setiap hari selama pelaksanaan penelitian. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.31.

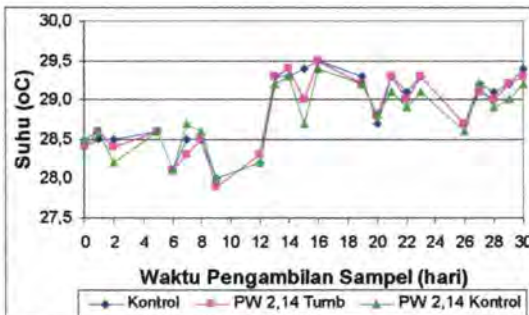
Tabel 4.31 Hasil Pengukuran Temperatur Limbah Fenol Buatan

Hari	Temperatur (°C)						
	Kontrol	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	28,4	28,5	28,5	28,6	28,5	28,5	28,5
1	28,5	28,6	28,6	28,6	28,5	28,6	28,6
2	28,5	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
5	28,6	28,6	28,7	28,6	28,7	28,6	28,7
6	28,1	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
7	28,5	28,7	29,1	29,4	28,9	29,0	29,1
8	28,5	28,5	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6
9	28,0	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
12	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
13	29,3	29,2	29,1	29,1	29,2	29,2	29,2
14	29,3	29,4	29,3	29,3	29,4	29,4	29,4
15	29,4	28,7	28,8	28,7	28,8	28,7	28,7
16	29,5	29,4	29,2	29,1	29,3	29,2	29,2
19	29,3	29,2	29,1	29,0	29,2	29,1	29,1
20	28,7	28,8	28,6	28,5	28,6	28,6	28,6
21	29,3	29,1	29,0	28,9	29,0	29,0	29,1
22	29,1	28,9	28,9	28,9	28,7	28,8	28,8
23	29,3	29,2	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1
26	28,7	28,7	28,5	28,5	28,6	28,6	28,5
27	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
28	29,1	29,0	28,8	28,9	28,8	28,8	28,8
29	29,2	29,1	29,1	29,1	29,0	29,0	29,0
30	29,4	29,3	29,1	29,1	29,3	29,2	29,2

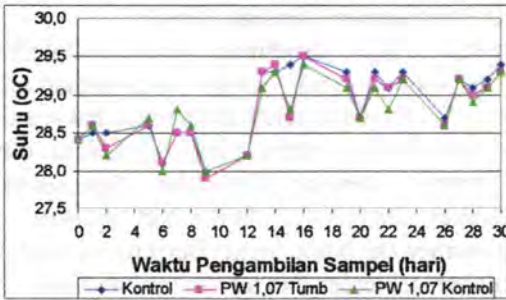
*) Penelitian ini dilakukan selama 30 hari. Tetapi waktu pengambilan dan pengukuran Temperatur hanya dapat dilakukan pada hari Senin - Jum'at.

Keterangan :

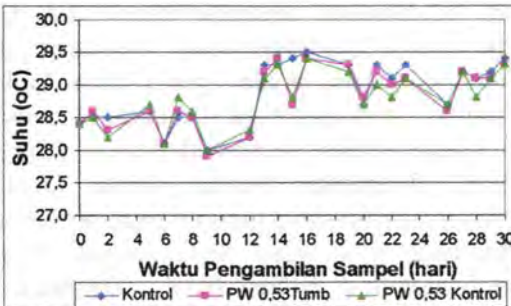
- Kontrol : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
- FB 2,14 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L
- FB 2,14 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- FB 1,07 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- FB 0,53 Kontrol : Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L



Gambar 4.75 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 2,14 mg/L



Gambar 4.76 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 1,07 mg/L



Gambar 4.78 Grafik Pengukuran pH pada Limbah Fenol Buatan dengan Konsentrasi 0,53 mg/L

Pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.76 - 4.78 menunjukkan bahwa bahwa penurunan fenol dan COD berlangsung antara pada rentang temperatur normal, yaitu antara 28- 29,5°C. Pengukuran temperatur ini dilakukan bersamaan pengukuran pH dengan menggunakan pH meter. Pengukuran temperatur dilakukan pada reaktor uji dan kontrol tiap variasi konsentrasi fenol buatan serta pada reaktor kontrol tanpa penambahan limbah.

4.4. Alternatif Pengolahan Limbah Fenol

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahwa pengolahan tersier limbah fenol dengan memanfaatkan kayu apu dapat berlangsung dan hasilnya telah memenuhi baku mutu perairan meskipun tidak mempunyai peran yang signifikan dibandingkan pada reaktor kontrol. Dengan demikian diperlukan alternatif pengolahan sekunder dan tersier dari limbah industri agar efluen yang dihasilkan memenuhi baku mutu. Berikut ini adalah alternatif bangunan pengolahan sekunder dan tersier limbah fenol:

- Pengolahan Sekunder berupa Sequences Batch Reactor System dengan Granular Activated Carbon pada (GAC - SBR)

Pengolahan ini memanfaatkan GAC untuk meningkatkan kemampuan absorpsi fenol dan COD pada pengolahan biologis SBR konvensional. Activated carbon telah banyak digunakan dalam proses pengolahan biologis yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi removal dan pengurangan waktu detensi. Activated carbon yang digunakan berbentuk GAC disebabkan bentuk serbuk (PAC) banyak menghilang tercampur bersama lumpur pada proses sedimentasi sehingga diperlukan PAC yang lebih banyak. Penelitian ini menggunakan konsentrasi influen fenol 1000 mg/L dan COD 300-3200 mg/L. Efisiensi fenol sistem SBR tanpa penambahan GAC memiliki selama 7 hari dan 14 hari mencapai 87,5 % (fenol efluen 125 mg/L) dan 99,40 % (fenol efluen 87,5 mg/L). Sedangkan efisiensi COD selama 7 hari dan 14 hari mencapai 87,70 % (COD efluen 125 mg/L) dan 94,20 % (COD efluen 87,5 mg/L). Efisiensi fenol sistem pengolahan SBR dengan penambahan GAC 1000 mg/L selama 7 hari dan 14 hari mencapai 99,40 % (fenol efluen 6,20 mg/L) dan 99,98 % (fenol efluen 0,24 mg/L). Sedangkan efisiensi COD selama 7 hari dan 14 hari mencapai 94,50 % (COD efluen 177 mg/L) dan 94,20 % (COD efluen 24 mg/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi pengolahan fenol dan COD sistem SBR dengan GAC lebih besar dibandingkan tanpa GAC (Sirianunpiboon, Vvintharat, dan Chamlongras, 1999).

- Pengolahan Tersier berupa Kolam Stabilisasi

Fenol merupakan salah satu senyawa kimia yang dapat diolah secara bioremediasi. Bioremediasi merupakan aplikasi pengolahan biologis yang memanfaatkan mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur dalam menangani pencemaran. Bioremediasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggunakan mikroba untuk mengolah pencemar melalui mekanisme biodegradasi alamiah (intrinsic bioremediation) atau meningkatkan mekanisme biodegradasi alamiah dengan menambahkan mikroba, nutrien, donor electron dan/atau akseptor elektron (enhanced bioremediation) (USEPA, 2001 dalam Mangkoedihardjo, 2005). Berdasarkan EPA, limbah fenol yang merupakan B-3 dapat diolah secara bioremediasi. Keuntungan pengolahan secara bioremediasi adalah dapat diterapkan secara on-site, mengeliminasi bahan pencemar secara permanen, biaya lebih murah dibandingkan pengolahan lain dan dapat digabungkan dengan pengolahan lainnya (Cookson, 1995).

Bioremediasi yang dapat dilakukan dalam pengolahan limbah fenol ini yaitu menampung efluen dari pengolahan sekunder pada sebuah kolam yang berisi mikroorganisme yang cocok dalam mendegradasi fenol, misalnya bakteri *pseudomonas putida* dengan mengatur kondisi lingkungan yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme. Kondisi lingkungan yang perlu di jaga yaitu pH, temperatur, oksigen, nutrien dan kelembaban. Selain itu keuntungan dari pengolahan bioremediasi dengan kolam yaitu mempercepat proses evaporasi. Proses ini dapat diandalkan untuk menghilangkan senyawa fenol. Hal ini berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa penurunan fenol lebih besar terjadi berasal dari faktor evaporasi.



BAB V

KESIMPULAN

BAB V KESIMPULAN

Kesimpulan yang di dapat dari penelitian ini adalah:

1. Konsentrasi maksimum fenol yang mampu diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor kayu apu adalah 2,14 mg/L.
2. a. Efisiensi sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water*, masing-masing sebesar 79,32 % - 94,88 % dan 38,89 - 72,92 %
b. Efisiensi sistem bioreaktor kontrol dalam menurunkan konsentrasi fenol dan COD pada limbah industri *phenolic water*, masing-masing sebesar 77,90 % - 92,07 % dan 75 % - 85 %
c. Efisiensi sistem bioreaktor kayu apu dalam menurunkan konsentrasi fenol dan COD pada limbah fenol buatan, masing-masing sebesar 79,32 % - 95,58 % dan 63,64 % - 77,78 %.
d. Efisiensi sistem bioreaktor kontrol dalam menurunkan konsentrasi fenol dan COD pada limbah fenol buatan, masing-masing sebesar 84,98 % - 95,93 % dan 58,33 % - 63 %.
3. Efisiensi sistem bioreaktor kayu apu dalam penurunan fenol tertinggi pada limbah fenol buatan, sedangkan efisiensi penurunan COD tertinggi pada limbah industri *phenolic water*
4. Kayu apu tidak memiliki peran yang cukup signifikan dalam penurunan fenol, hal ini tunjukkan dengan efisiensi penurunan fenol dan COD pada bioreaktor kontrol lebih tinggi dan penelitian efisiensi penurunan fenol secara evaporasi tanpa aktivitas mikroorganisme pada limbah fenol buatan dengan konsentrasi 2,14 mg/L mengalami efisiensi sebesar 62,09 % selama 6 hari.





DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. **Philippine Medicinal Plants. Kiapo (*Pistia stratiotes*)**.
<URL:<http://www.stuartsxchange.org/>>
- American Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA), WEF. 1998. **Standart Methods For Examination Water And Wastewater 20th Edition**.
- Alaerts, G. dan Santika, S. 1987. **Metode Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.
- Conway, A. Richard dan Ross, D. Richard, 1980. **Handbook of Industrial Waste Disposal**. Environmental Engineering series. New York: Van Nortrand Reinhold.
- Cookson, John, T. Jr., 1995. **Bioremediation Engineering**. Design and Application. New York: Mc-Graw Hill, Inc.
- Damayanti, A. 2000. **Studi Pemanfaatan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan COD, N, P pada Lindi TPA Keputih Surabaya**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Dewi, D. 2000. **Studi Pemanfaatan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk Menurunkan Logam Berat Cu⁺⁺**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Gerrard, A. M., et al. July. 2006. **Simple Models for Continous Aerobic Biodegradation of Phenol in a Packed Bed Reactor**. Barazilian Archives of Biology and Technology. An International Journal. Vol. 49 n-4; pp. 669-676.
- Hariyono, B. 1998. **Studi Penurunan Phenol dengan Oksidasi Permanganat dan Koagulasi dengan Alum**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Martin, Edward J. dan Johnson, James, H., Jr. 1987. **Hazardous Wate Management Engineering**. New York: Van Nonstand Reinhold Company Inc.

- Keenan, C. W., Kleinfelder, D. C. dan Wood, J. H., 1984. **Kimia Untuk Universitas**. Edisi Keenam. Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Khiatuddin, M. 2003. **Melestarikan Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa Buatan**. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- La Grega, Buckingham, Evans. 2001. **Hazardous Waste Management 2nd Edition**. New York: Graw Hill.
- Mangkoedihardjo, S. 2002. **Efek Zat Organik Air Limbah Terhadap Pertumbuhan Eceng Gondok**. Malang: Disertasi Program Pasca Sarjana Studi Ilmu Kekhususan Ekologi Universitas Brawijaya.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. **Seleksi Teknologi Pemulihan untuk Ekosistem Laut Tercemar Minyak Remediation Technologies Selection for Oil-Polluted Marine Ecosystem**. Surabaya: Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan ITS.
- Mayang, P. A. 2006. **Laju Evapotranspirasi pada Penurunan Konsentrasi Cu^{2+} di dalam Reaktor Batch dengan Menggunakan Floating Aquatic Plant (Eceng Gondok, Duckweed dan Kayu Apu)**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Priyanto, Budhi. Maret, 2007. **Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Sumberdaya Hayati Tumbuhan Untuk Pembersihan Pencemaran Logam** <URL:<http://www.bppt.go.id/html>>
- Rivers III, Louie. **Water Lettuce (*Pistia stratiotes*)**. <URL:<http://www.iisgcp.org/.html>>
- Rothmel, R. K. Dan Chakrabarty, A . M., **Interrelation of Chemistry and Biotechnology-lit Microbial Degradation of Synthetic Recalcitrant Compounds**.
- Sari, P. M. 1999. **Studi Pemanfaatan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk Menurunkan COD, N dan P pada Air Limbah Pabrik Tahu**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.

- Sirianunpiboon, S., Vvinintharat, S. dan Chamlongras, W., Jan. 1999. "Removal of Organic Compounds from the Waste Water by Using Granular Activated Carbon – Squencing Batch Reactor System". **Thammasat Int. J. Sc. Tech.**, Vol. 4, No.1.
- Suronegoro, N. H. 2006 . **Bioremoval Limbah Zat Warna Tekstil Buatan Bergugus Quinone Memanfaatkan Kayu Apu dan Eceng Gondok dengan Airan Kontinyu**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Sawyer, McCarty, Parkin. 1990. **Chemistry for Environmental Engineering and Science 5th edition**. New York: Mc Graw Hill.
- Tedder D. William dan Pohland, Frederick, G. 1989. **Emerging Technologies In Hazardous Waste Management** Washington DC: American Chemical Society.

LAMPIRAN A

Lampiran A. Prosedur Penelitian

A.1. Prosedur Pengujian Kadar Fenol

Cara Uji Kadar Fenol Secara Spektrofotometri ICS 13.060.50 (Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-6989.21-2004)

Pembuatan kurva kalibrasi

Buat kurva kalibrasi dengan tahapan sebagai berikut:

1. Apabila kadar fenol antara 0,005 mg/L sampai dengan 0,1 mg/L buat kurva kalibrasi dengan tahapan sebagai berikut:
 - a) Optimalkan alat spektrofotometer sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengujian fenol kadar rendah.
 - b) Ukur 500 mL larutan baku secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 1000 mL.
 - c) Tambahkan 12 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
 - d) Pindahkan larutan ke dalam corong pemisah tambahkan 3,0 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.
 - e) Tambahkan 3,0 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 3 menit sampai timbul warna kuning jernih.
 - f) Ekstraksi dengan 25 mL kloroform dan kocok corong pemisah paling sedikit 10 kali, diamkan sampai lapisan kloroform terpisah.
 - g) Keluarkan lapisan kloroform melalui kertas saring yang telah dilapisi dengan 5 g natrium sulfat bebas air.
 - h) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat serapan pada panjang gelombang 460 nm.
 - i) Apabila perbedaan hasil pengukuran secara duplo lebih besar dari 2%, periksa keadaan alat dan ulangi pekerjaan mulai tahap 1), apabila lebih kecil atau sama dengan 2% rata-ratakan hasilnya.
 - j) Buat kurva kalibrasinya.

2. Apabila kadar fenol antara 0,200 mg/L sampai dengan 5,000 mg/L buat kurva kalibrasi dengan tahapan sebagai berikut:
 - a) Optimalkan alat spektrofotometer sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengujian fenol kadar tinggi.
 - b) Ukur 100 mL larutan baku secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 250 mL.
 - c) Tambahkan 2,5 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
 - d) Pindahkan larutan ke dalam corong pemisah tambahkan 1,0 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.
 - e) Tambahkan 1,0 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 15 menit.
 - f) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansinya pada panjang gelombang 500 nm.
 - g) Apabila perbedaan hasil pengukuran secara duplo lebih besar dari 2%, periksa keadaan alat dan ulangi pekerjaan mulai tahap 1), apabila lebih kecil atau sama dengan 2% rata-ratakan hasilnya.
 - h) Buat kurva kalibrasinya.

Prosedur pengujian fenol

Lakukan cara uji fenol dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengujian kadar fenol dalam air dan air limbah antara 0,005 mg/L sampai dengan 0,1 mg/L dengan tahapan sebagai berikut:
 - a) Ukur 500 mL contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 1000 mL.
 - b) Tambahkan 12 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
 - c) Pindahkan larutan ke dalam corong pemisah tambahkan 3 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.

- d) Tambahkan 3 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 3 menit sampai timbul warna kuning jernih. Ekstraksi dengan 25,0 mL kloroform dan kocok corong pemisah paling sedikit 10 kali, diamkan sampai lapisan kloroform terpisah.
 - e) Keluarkan lapisan kloroform melalui kertas saring yang telah dilapisi dengan 5 g natrium sulfat anhidrat.
 - f) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm.
2. Pengujian kadar fenol dalam air dan air limbah antara 0,200 mg/L sampai dengan 5,000 mg/L dengan tahapan sebagai berikut:
- a) Ukur 100 mL contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 250 mL.
 - b) Tambahkan 2,5 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
 - c) Tambahkan 1 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.
 - d) Tambahkan 1 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 15menit.
 - e) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansi pada panjang gelombang 500 nm.

A.2 Prosedur Analisis COD

Prosedur analisis COD adalah sebagai berikut:

1. Disiapkan 2 buah botol Erlenmeyer (masing-masing untuk sampel dan blanko).
2. Dimasukkan 0,4 gr kristal HgSO_4 ke dalam masing-masing Erlenmeyer.
3. Dituangkan sampel ke dalam masing-masing erlenmeyer sebanyak 20 ml.(apabila sampel terlalu pekat perlu diencerkan terlebih dahulu / sampel sebanyak 2 ml + aquadest 20 ml)
4. Ditambahkan 10 ml larutan kalium dikromat 0,1 N.
5. Ditambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
6. Larutan dalam erlenmeyer kemudian direfluks selama 2 jam.
7. Setelah direfluks, dibiarkan sampai erlemeyer dingin kemudian ditambahkan air aquades melalui kondensor sampai volumenya 150 ml.
8. Erlenmeyer dilepaskan dari kondensor dan ditunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3 - 4 tetes indikator ferroin.
10. Kemudian larutan didalam erlenmeyer tersebut dititrasi dengan larutan standar Fero Amonium Sulfat 0,05 N sampai warnanya menjadi merah coklat.
 - Volume titrasi untuk Sampel = a ml
 - Volume titrasi untuk balanko titrasi pertama = b ml
11. Pada erlenmeyer yang berisi blanko ditambahkan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, kemudian ditambah indikator feron sebanyak 3 tetes dan dititrasi kembali dengan Fero Amonium Sulfat 0,05 N.
 - Volume titrasi untuk balanko titrasi ke dua = c ml
12. Dihitung kadar COD dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{COD (mg/L)} = \{(a-b) \times N \times 8000 \times f \times P\} / \{\text{volume sampel}\}$$

Dimana : a = ml Fero Amonium Sulfat blanko

b = ml Fero Amonium Sulfat sampel

N = Normalitas FAS (0,05 N)

P = Pengenceran

f = faktor = (20 / ml titran balnko titrasi kedua)

A.2 Prosedur Pengukuran pH dan Temperatur

Prosedur pengukuran pH dan Temperatur adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel air.
2. Alat pH meter hendaknya dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer sebelum digunakan pengukur pH dari suatu sampel air.
3. Sebelum dan sesudah mengukur, angka pada Ph meter harus menunjukkan pH standart, yaitu sekitar 7
4. Mencelupkan alat pH meter ke dalam sampel air.
5. Nilai pH dan Temperatur dapat dilihat secara langsung pada pH meter digital.

LAMPIRAN B

Lampiran B. Penentuan Panjang Gelombang dan Kalibrasi

Penentuan panjang gelombang dan kalibrasi ini dilakukan guna penelitian penurunan konsentrasi fenol secara spektrofotometri. Spektrofotometer yang digunakan adalah tipe SPECTRONIC 20 GENESYS. Hasil penentuan panjang gelombang dapat dilihat pada tabel A.1

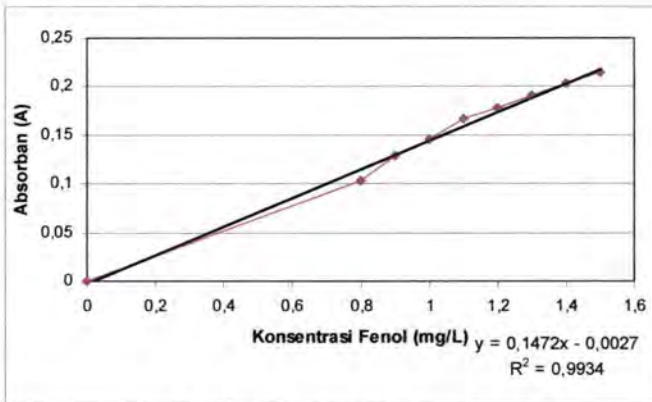
Tabel B.1 Hasil Penelitian Pencarian Panjang Gelombang

No.	λ (nm)	T	C (mg/L)
1	450	84,8	0,071
2	460	79,6	0,098
3	480	72,8	0,137
4	490	71,3	0,147
5	500	69,8	0,156
6	510	70	0,155
7	520	70,6	0,150
8	540	74,7	0,127

Pemilihan panjang gelombang berdasarkan nilai T terkecil, yaitu 69,8. Dengan demikian dapat ditentukan panjang gelombang dalam pengukuran konsentrasi fenol adalah 500 nm. Setelah mendapatkan panjang gelombang optimum, langkah selanjutnya adalah pembuatan kalibrasi. Selama penelitian dilakukan kalibrasi sebanyak empat kali, setiap adanya penggunaan *reagent* baru. Hasil keempat kalibrasi tersebut dapat dilihat pada Tabel B.2 - B.5 dan Gambar B.1 - B.4.

Tabel B.2 Hasil Kurva Kalibrasi Fenol I (24 April 2007)

No.	C (mg/L)	A	cek C (mg/L)	Selisih C (mg/L)
1.	0	0	0	0
2.	0,8	0,103	0,718	0,082
3.	0,9	0,129	0,895	0,005
4.	1	0,146	1,010	-0,010
5.	1,1	0,166	1,146	-0,046
6.	1,2	0,178	1,228	-0,028
7.	1,3	0,19	1,309	-0,009
8.	1,4	0,203	1,397	0,003
9.	1,5	0,215	1,479	0,021

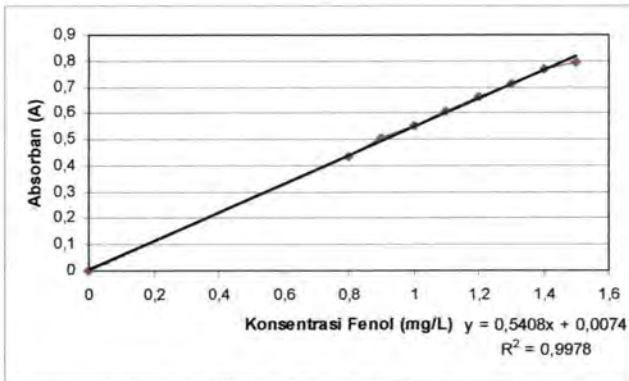


Gambar B.1 Kurva Kalibrasi Fenol I



Tabel B.3 Hasil Kurva Kalibrasi II (30 April 2007)

No.	C (mg/L)	A	cek C (mg/L)	Selisih C (mg/L)
1.	0	0	0	0
2.	0,8	0,434	0,789	0,011
3.	0,9	0,506	0,922	-0,022
4.	1	0,553	1,009	-0,009
5.	1,1	0,608	1,111	-0,011
6.	1,2	0,664	1,214	-0,014
7.	1,3	0,713	1,305	-0,005
8.	1,4	0,771	1,412	-0,012
9.	1,5	0,793	1,453	0,047

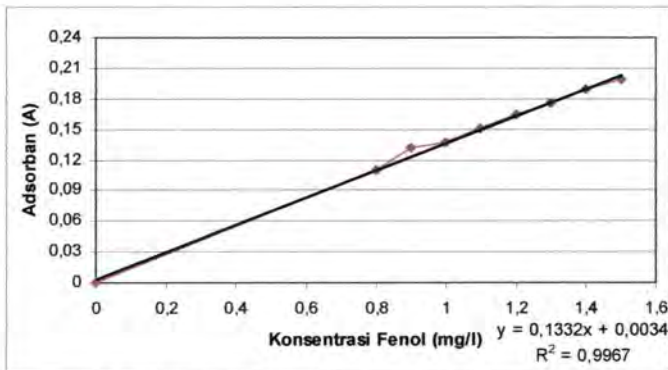


Gambar B.2 Kurva Kalibrasi Fenol II



Tabel B.4 Hasil Kurva Kalibrasi III (7 Mei 2007)

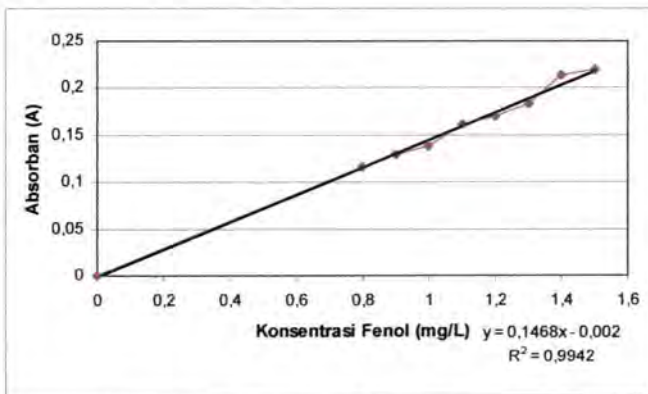
No.	C (mg/L)	A	cek C (mg/L)	Selisih C (mg/L)
1.	0	0	0	0
2.	0,8	0,11	0,800	0,000
3.	0,9	0,131	0,958	-0,058
4.	1	0,137	1,003	-0,003
5.	1,1	0,151	1,108	-0,008
6.	1,2	0,164	1,206	-0,006
7.	1,3	0,175	1,288	0,012
8.	1,4	0,189	1,393	0,007
9.	1,5	0,199	1,468	0,032



Gambar B.3 Kurva Kalibrasi Fenol III

Tabel B.5 Hasil Kurva Kalibrasi IV (18 Juni 2007)

No.	C (mg/L)	A	cek C (mg/L)	Selisih C (mg/L)
1.	0	0	0	0
2.	0,8	0,117	0,811	-0,011
3.	0,9	0,13	0,899	0,001
4.	1	0,138	0,954	0,046
5.	1,1	0,161	1,110	-0,010
6.	1,2	0,17	1,172	0,028
7.	1,3	0,183	1,260	0,040
8.	1,4	0,213	1,465	-0,065
9.	1,5	0,22	1,512	-0,012



Gambar B.4 Kurva Kalibrasi Fenol IV

LAMPIRAN C

Lampiran C. Data Hasil Penelitian

C.1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Fenol

Tabel C.1 Pengukuran Konsentrasi Fenol

No. Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-6 ¹		Hari ke-12 ²		Hari ke-15 ²		Hari ke-18 ³	
	C (mg/L)	Abs.	C (mg/L)	Abs.	C (mg/L)	Abs.	C (mg/L)	Abs.	C (mg/L)
R4	2,14	0,105	0,732	0,17	0,301	0,084	0,142	0,020	0,125
R5	2,14	0,073	0,514	0,103	0,177	0,091	0,155	0,016	0,095
R6	1,07	0,038	0,276	0,11	0,190	0,059	0,095	0,012	0,065
R7	1,07	0,072	0,507	0,12	0,208	0,082	0,138	0,018	0,110
R8	0,53	0,03	0,222	0,109	0,188	0,095	0,162	0,017	0,102
R9	0,53	0,032	0,236	0,115	0,199	0,096	0,164	0,019	0,117
R10	2,14	0,037	0,270	0,08	0,134	0,068	0,112	0,014	0,080
R11	2,14	0,052	0,372	0,125	0,217	0,073	0,121	0,018	0,110
R12	1,07	0,072	0,507	0,105	0,180	0,065	0,107	0,013	0,072
R13	1,07	0,068	0,480	0,104	0,179	0,081	0,136	0,015	0,087
R14	0,53	0,066	0,467	0,087	0,147	0,076	0,127	0,017	0,102
R15	0,53	0,064	0,453	0,114	0,197	0,104	0,179	0,019	0,117
R16	2,14	0,121	0,840	0,2	0,356	0,139	0,243	0,026	0,170
R17	1,07	0,093	0,650	0,141	0,247	0,086	0,145	0,017	0,102
R18	0,53	0,062	0,440	0,129	0,225	0,091	0,155	0,019	0,117
R19	2,14	0,038	0,276	0,115	0,199	0,076	0,127	0,015	0,087
R20	1,07	0,032	0,236	0,106	0,182	0,053	0,084	0,012	0,065
R21	0,53	0,043	0,310	0,082	0,138	0,058	0,094	0,014	0,080

Keterangan:

- 1) Pada waktu pengambilan sampel hari ke-6 menggunakan kurva kalibrasi I
- 2) Pada waktu pengambilan sampel hari ke-12 dan 15 menggunakan kurva kalibrasi II
- 3) Pada waktu pengambilan sampel hari ke-18 menggunakan kurva kalibrasi III

R4 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (pertama)

R5 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (duplo)

- R6 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (pertama)
- R7 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (duplo)
- R8 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (pertama)
- R9 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (duplo)
- R10: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (pertama)
- R11: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (duplo)
- R12: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (pertama)
- R13: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (duplo)
- R14: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (pertama)
- R15: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (duplo)
- R16: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- R17: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- R18: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- R19: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- R20: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- R21: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L

C.1. Hasil Pengukuran COD

Tabel C.2 Pengukuran COD

No. Reaktor	COD (mg/L)						
	Hari ke-0	Hari ke-6	Hari ke-12	Hari ke-15	Hari ke-18	Hari ke-24	Hari ke-30
R1	80	80	72,8	60	53,3	40	50
R4	520	520	236,6	200	180	140	120
R5	440	440	200,2	180	140	120	100
R6	220	220	163,8	160	124,4	100	100
R7	240	240	163,8	140	124,4	100	120
R8	200	200	127,4	100	88,9	80	100
R9	160	160	109,2	100	88,9	80	100
R10	240	240	145,6	100	71,1	60	80
R11	200	200	145,6	120	88,9	80	60
R12	200	200	163,8	100	88,9	80	60
R13	160	160	127,4	100	71,1	40	40
R14	160	160	109,2	80	53,3	40	60
R15	160	160	109,2	60	53,3	40	20
R16	400	400	327,6	260	177,8	140	100
R17	380	380	236,6	120	71,1	60	70
R18	320	320	218,4	100	71,1	60	70
R19	240	240	127,4	80	53,3	40	60
R20	200	200	127,4	100	88,9	60	70
R21	160	160	109,2	80	71,1	60	40

C. 3. Hasil Pengukuran pH dan Suhu

Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu

No. Reaktor	Rabu (18/4)		Kamis (19/4)		Jum'at (20/4)		Senin (23/4)		Selasa (24/4)	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
R1	7,21	28,4	7,35	28,5	7,78	28,5	7,78	28,6	7,26	28,1
R2	7,58	28,4	7,66	28,5	7,7	28,5	7,90	28,7	7,31	28,1
R3	7,54	28,4	7,62	28,5	7,78	28,4	7,83	28,6	7,26	28,1
R4	7,61	28,4	7,88	28,6	7,79	28,4	8,14	28,6	7,70	28,1
R5	7,42	28,4	7,81	28,5	7,66	28,3	8,08	28,5	7,34	28,1
R6	7,69	28,4	7,8	28,6	7,79	28,3	8,15	28,5	7,46	28,1
R7	7,71	28,3	7,87	28,5	7,98	28,3	8,43	28,6	7,73	28,1
R8	7,68	28,3	7,8	28,6	7,95	28,3	7,86	28,6	7,23	28,1
R9	7,46	28,5	7,56	28,6	7,82	28,3	8,16	28,6	7,40	28,1
R10	7,59	28,5	7,76	28,6	8,07	28,2	8,17	28,6	7,50	28,1
R11	7,64	28,5	7,86	28,6	8,36	28,2	8,18	28,6	7,69	28,0
R12	7,63	28,5	7,98	28,6	8,4	28,2	8,18	28,7	7,58	28,0
R13	7,47	28,6	7,83	28,5	8,28	28,2	8,14	28,6	7,51	28,0
R14	7,49	28,6	7,91	28,6	8,37	28,2	8,22	28,6	7,65	28,0
R15	7,64	28,6	7,73	28,6	8,07	28,2	7,98	28,6	7,48	28,0
R16	7,77	28,5	7,93	28,6	8,05	28,2	8,43	28,6	8,21	28,1
R17	7,86	28,4	8,00	28,6	8,11	28,2	8,46	28,7	8,36	28,0
R18	7,89	28,4	8,02	28,5	8,25	28,2	8,45	28,7	8,24	28,1
R19	7,98	28,5	8,06	28,5	8,42	28,2	8,46	28,7	8,31	28,0
R20	7,52	28,5	7,97	28,6	8,31	28,2	8,20	28,6	8,09	28,0
R21	8,04	28,5	8,34	28,6	8,47	28,2	8,49	28,7	8,32	28,0

Keterangan:

- R1 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
 R2 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
 R3 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol
 R4 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (pertama)
 R5 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (duplo)
 R6 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (pertama)
 R7 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (duplo)

- R8 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (pertama)
- R9 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (duplo)
- R10: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (pertama)
- R11: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (duplo)
- R12: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (pertama)
- R13: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (duplo)
- R14: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (pertama)
- R15: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (duplo)
- R16: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L
- R17: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L
- R18: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L
- R19: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L
- R20: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L
- R21: Reaktor kontrol (tanpa kayu apu) dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L

Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu (lanjutan)

No. Reaktor	Rabu (25/4)		Kamis (26/4)		Jum'at (27/4)		Senin (30/4)		Selasa (1/5)	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
R1	7,34	28,5	7,28	28,5	7,20	27,9	7,25	28,3	7,51	29,3
R2	7,33	28,3	7,32	28,5	7,35	27,9	7,52	28,3	7,75	29,3
R3	7,43	28,1	7,43	28,5	7,31	27,9	7,55	28,3	7,68	29,3
R4	7,56	28,0	7,45	28,5	7,51	27,9	7,84	28,3	8,07	29,3
R5	7,36	28,3	7,49	28,5	7,60	27,9	7,96	28,2	7,89	29,4
R6	7,48	28,4	7,29	28,5	7,53	27,9	7,54	28,2	7,71	29,3
R7	7,51	28,6	7,53	28,5	7,74	27,9	7,75	28,3	7,92	29,3
R8	7,35	28,6	7,57	28,5	7,75	27,9	8,56	28,2	8,07	29,2
R9	7,40	28,7	7,28	28,5	7,51	28,0	8,93	28,2	8,17	29,2
R10	7,37	28,7	7,44	28,5	7,62	28,0	8,46	28,2	8,42	29,2
R11	7,57	28,7	7,37	28,5	7,54	28,0	8,33	28,2	8,36	29,2
R12	7,65	29,1	7,31	28,6	7,55	28,1	8,37	28,2	8,61	29,1
R13	7,60	29,1	7,29	28,6	7,52	28,0	8,36	28,2	8,36	29,1
R14	7,64	29,1	7,31	28,6	7,43	28,0	8,34	28,2	8,41	29,1
R15	7,47	28,5	7,22	28,6	7,51	28,1	8,23	28,2	8,26	29,1
R16	8,42	28,7	8,43	28,6	8,51	28,0	8,38	28,2	8,85	29,2
R17	8,55	28,8	8,51	28,6	8,5	28,0	8,81	28,2	8,84	29,1
R18	8,35	28,8	8,24	28,6	8,19	28,0	8,9	28,3	8,96	29,1
R19	8,39	28,9	8,32	28,6	8,48	28,0	8,61	28,2	8,72	29,2
R20	8,24	29,0	8,13	28,6	8,18	28,0	8,68	28,2	8,62	29,2
R21	8,36	29,1	8,24	28,6	8,34	28,0	8,73	28,2	8,72	29,2

Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu (lanjutan)

No. Reaktor	Rabu (2/5)		Kamis (3/5)		Jum'at (4/5)		Senin (7/5)		Selasa (8/5)	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
R1	7,40	29,3	7,29	29,4	7,42	29,3	7,29	29,4	7,18	28,7
R2	7,56	29,4	7,37	29,4	7,69	29,4	7,37	29,4	7,21	28,7
R3	7,51	29,4	7,48	29,3	7,62	29,4	7,48	29,3	7,19	28,7
R4	7,7	29,4	7,53	29,3	7,74	29,4	7,53	29,3	7,62	28,8
R5	7,72	29,4	7,62	28,7	7,7	29,4	7,62	28,7	7,44	28,7
R6	7,76	29,4	7,81	28,7	7,82	29,4	7,81	28,7	7,93	28,7
R7	7,94	29,4	8,03	28,7	8,04	29,4	8,03	28,7	8,15	28,8
R8	7,74	29,4	7,6	28,7	7,87	29,4	7,6	28,7	7,45	28,8
R9	7,8	29,4	7,6	28,7	7,83	29,4	7,6	28,7	7,48	28,8
R10	7,84	29,4	8,05	28,7	8,27	29,4	8,05	28,7	8,03	28,8
R11	8,21	29,4	8,00	28,7	8,35	29,4	8,00	28,7	8,10	28,8
R12	8,34	29,3	8,15	28,8	8,68	29,3	8,15	28,8	8,19	28,8
R13	8,09	29,3	7,88	28,8	8,76	29,3	7,88	28,8	7,78	28,7
R14	8,2	29,3	8,01	28,7	8,54	29,3	8,01	28,7	8,47	28,7
R15	8,01	29,3	7,87	28,7	8,03	29,3	7,87	28,7	8,44	28,6
R16	8,78	29,3	8,31	28,7	8,26	29,3	8,31	28,7	8,46	28,6
R17	8,71	29,3	8,52	28,8	8,0	29,3	8,52	28,8	8,42	28,7
R18	8,83	29,3	8,84	28,8	8,86	29,3	8,84	28,8	8,15	28,6
R19	8,76	29,4	8,41	28,8	8,82	29,4	8,41	28,8	8,50	28,5
R20	8,43	29,4	8,92	28,7	8,78	29,4	8,92	28,7	8,18	28,5
R21	8,54	29,4	8,36	28,8	8,45	29,4	8,36	28,8	7,61	28,5

Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu (lanjutan)

No. Reaktor	Rabu (9/5)		Kamis (10/5)		Jum'at (11/5)		Senin (14/5)		Selasa (15/5)	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
R1	7,33	29,3	7,45	29,1	7,54	29,3	8	28,7	7,93	29,2
R2	7,53	29,3	7,66	29,1	7,76	29,3	8,06	28,6	7,98	29,2
R3	7,42	29,3	7,48	29,1	7,56	29,3	8,09	28,7	8,03	29,2
R4	7,89	29,3	7,92	29,0	8,02	29,3	8,14	28,7	7,75	29,1
R5	7,66	29,2	7,79	29,1	7,88	29,3	8,47	28,6	7,93	29,2
R6	8,04	29,2	8,07	29,1	8,11	29,2	8,09	28,7	7,86	29,2
R7	8,18	29,3	8,22	29,0	8,25	29,1	8,17	28,6	7,81	29,1
R8	7,60	29,3	7,75	29,0	7,85	29,1	8,17	28,6	7,94	29,2
R9	7,63	29,1	7,76	29,0	7,89	29,2	8,23	28,7	7,79	29,1
R10	8,19	29,1	8,29	28,9	8,39	29,2	8,74	28,7	8,25	29,2
R11	8,27	29,1	8,10	28,9	8,21	29,2	8,5	28,7	7,91	29,2
R12	8,23	29,1	8,03	28,9	8,36	29,1	8,48	28,6	8,82	29,2
R13	8,67	28,9	8,78	28,9	8,17	29,2	8,62	28,6	8,86	29,2
R14	8,30	28,9	8,13	28,9	8,45	29,1	8,73	28,7	8,79	29,2
R15	7,77	28,9	7,87	28,9	8,83	29,1	8,87	28,6	8,84	29,2
R16	8,27	29,1	8,45	28,9	8,34	29,1	8,52	28,6	8,65	29,2
R17	7,94	29,1	8,07	28,8	8,41	29,2	8,68	28,5	8,69	29,2
R18	8,55	29,0	8,38	28,8	8,13	29,1	8,22	28,5	28,8	8,45
R19	8,61	29,0	8,75	28,7	8,88	29,1	8,26	28,6	28,7	8,83
R20	8,58	29,0	8,24	28,8	8,23	29,1	8,61	28,5	28,8	8,34
R21	8,59	29,1	8,33	28,8	7,96	29,2	8,18	28,5	28,8	8,41

Tabel C.3 Hasil Pengukuran pH dan Suhu (lanjutan)

No. Reaktor	Rabu (16/5)		Kamis (17/5)		Jum'at (18/5)	
	pH	T	pH	T	pH	T
R1	7,84	29,1	7,79	29,2	7,88	29,4
R2	7,88	29,1	7,91	29,2	7,92	29,4
R3	7,86	29,1	7,81	29,2	7,86	29,4
R4	7,83	29,0	7,73	29,2	7,87	29,3
R5	8,00	29,0	7,95	29,2	8,05	29,4
R6	7,67	29,0	7,50	29,1	7,54	29,3
R7	7,56	29,0	7,47	29,1	7,44	29,3
R8	8,01	29,1	7,91	29,1	7,88	29,3
R9	7,90	29,0	7,92	29,1	7,93	29,2
R10	7,99	29,0	7,88	29,1	8,01	29,3
R11	7,87	28,9	7,71	29,1	7,74	29,2
R12	8,23	28,8	8,26	29,1	8,28	29,1
R13	8,02	28,9	8,05	29,1	8,06	29,1
R14	8,12	28,9	8,07	29,1	7,99	29,1
R15	7,93	28,8	7,96	29,1	7,97	29,1
R16	8,66	28,9	8,56	29,0	8,69	29,2
R17	8,94	28,9	8,83	29,1	8,71	29,3
R18	8,94	28,8	8,82	29,1	8,79	29,3
R19	8,91	28,8	8,80	29,0	8,92	29,3
R20	8,73	28,8	8,54	29,0	8,77	29,2
R21	8,65	28,8	8,54	29,0	8,69	29,2

C. 4. Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu

Tabel C.4 Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu

No. Reaktor	Hari ke-0				Hari ke-3			
	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)
R1	8	4,5	16	0	8	4,5	16,5	1
R2	7,5	4	20	1	7,5	4	20,5	2
R3	7,5	4	24	0	7,5	4	25	2
R4	8	5	27	2	8,5	5	27	2
R5	8,5	5,5	28	2	8,5	5,5	29	6
R6	7,5	6,5	30	3	7,5	6,5	31	5
R7	7,5	4,5	28	2	7,5	4,5	28	4
R8	9	6	32	2	9	6	33	4
R9	8	4,5	28	2	8	5	28	3
R10	7,5	5	30	3	7,5	5	32	4
R11	8,5	6	30	2	8,5	6	31	3
R12	7,5	4	28	3	8	4,5	28	5
R13	8	4,5	30	2	8	5,5	33	2
R14	7,5	5,5	28	2	7,5	6	30	3
R15	9,5	7	31	2	10	7	31	3

Keterangan:

PD : Panjang daun (cm)

LD : Lebar daun (cm)

A : Akar (cm)

T : Tunas / anakan baru (buah)

R1 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol

R2 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol

R3 : Reaktor uji kayu apu tanpa penambahan limbah fenol

R4 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (pertama)

R5 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 2,14 mg/L (duplo)

R6 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (pertama)

- R7 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 1,07 mg/L (duplo)
- R8 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (pertama)
- R9 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (duplo)
- R10:Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (pertama)
- R11: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (duplo)
- R12:Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (pertama)
- R13: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (duplo)
- R14:Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (pertama)
- R15: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (duplo)

Penelitian morfologi kayu apu hanya dilakukan hingga hari ke-24. Hal ini disebabkan pada hari ke-27 dan 30 kayu mengalami kematian.

Tabel C.4 Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu (lanjutan)

No. Reaktor	Hari ke-6				Hari ke-9			
	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)
R1	8,5	5	22	2	8,5	5	22	4
R2	7,5	4,5	20,5	3	8	4,5	21	3
R3	7,5	4,5	25	3	7,5	4,5	26	2
R4	8,5	5	27,5	6	8	5	28	6
R5	9	5,5	30	5	9	5,5	32	5
R6	7,5	7	31	3	7,5	7	31	3
R7	7,5	4,5	29	3	8	4,5	29	3
R8	9	6,5	34	3	9	7	35	3
R9	8	5	30	8	8	5	31	8
R10	7,5	5,5	32	5	8	5,5	34	5
R11	9	6	32	2	9	6	32	2
R12	8,5	4,5	30	7	8,5	5	31	7
R13	8	6	33	7	8	6	34	7
R14	7,5	6,5	30	6	7,5	6,5	31	5
R15	10	7,5	32	4	10	7,5	35	3

Keterangan:

PD : Panjang daun (cm)

LD : Lebar daun (cm)

A : Akar (cm)

T : Tunas / anakan baru (buah)

Tabel C.4 Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu (lanjutan)

No. Reaktor	Hari ke-12				Hari ke-15			
	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)
R1	8,5	5	23	5	7,5	4,5	23	4
R2	8	4,5	21	4	7	4	22	3
R3	7,5	4,5	27	4	7,5	4,5	28	3
R4	8	5,5	28	2	8	5,5	29	5
R5	9	5,5	32	6	8,5	5,5	36	3
R6	7,5	7	32	5	8	6,5	33	6
R7	8,5	4,5	30	4	8	4,5	31	7
R8	9	7	35	4	9	6	35	3
R9	8	5,5	31	3	8	5	32	3
R10	8,5	5,5	34	4	7,5	4,5	35	2
R11	9	6	32	3	8,5	5	33	3
R12	8,5	5,5	31	5	8	5	32	3
R13	8	6	34	2	8	5,5	34	7
R14	7,5	6,5	31	3	7	6,5	31	5
R15	10	7,5	34	3	9,5	7	35	3

Keterangan:

PD : Panjang daun (cm)

LD : Lebar daun (cm)

A : Akar (cm)

T : Tunas / anakan baru (buah)

Tabel C.4 Hasil Pengukuran Morfologi Kayu Apu (lanjutan)

No. Reaktor	Hari ke-18				Hari ke-24			
	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)	PD (cm)	LD (cm)	A (cm)	T (buah)
R1	7,5	4	23	3	7	4	23	3
R2	7	4	21	2	6,5	4	22	2
R3	7,5	4,5	27	4	7	4,5	27	3
R4	8	5	28	4	8	4,5	28	3
R5	8,5	5	41	4	8	5	41	2
R6	8	5,5	33	5	7,5	5	34	3
R7	7,5	4,5	32	6	7,5	4,5	32	2
R8	8	5,5	36	2	7,5	5	36	2
R9	7,5	5	32	3	7	4,5	33	2
R10	7	4,5	35	6	6,5	4,5	36	4
R11	7,5	5	33	4	7	5	34	3
R12	7	5	33	3	6,5	4,5	34	6
R13	6,5	5	35	4	6	5	35	3
R14	6,5	6	31	8	6,5	5,5	32	7
R15	8,5	6	35	3	7,5	5	36	4

Keterangan:

PD : Panjang daun (cm)

LD : Lebar daun (cm)

A : Akar (cm)

T : Tunas / anakan baru (buah)

- R8 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (pertama)
- R9 : Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah *phenolic water* 0,53 mg/L (duplo)
- R10: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (pertama)
- R11: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 2,14 mg/L (duplo)
- R12: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (pertama)
- R13: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 1,07 mg/L (duplo)
- R14: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (pertama)
- R15: Reaktor uji kayu apu dengan konsentrasi limbah fenol buatan 0,53 mg/L (duplo)

Penelitian morfologi kayu apu hanya dilakukan hingga hari ke-24. Hal ini disebabkan pada hari ke-27 dan 30 kayu mengalami kematian.



**BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR**

**REPORT
Laboratory Test Result**

No : 0576/KI/II-2007
 Code : Penelitian
 Sample Sender : Mhs.TL ITS Shy
 Sample Name : Limbah Keramik
 Test : Phenol-COD
 Sample Brand :
 Sample Identity : Cairan kecoklatan
 Sample Accepted : 20 Feb.2007

Chemical laboratory test result is

- 1. Phenol , mg/l : 384,60
- 2. C O D , mg/l : 886,50



Feb.2007
 Chemical Laboratory
 Researcher
 (Drs. M. Fatoni, MS)



LAMPIRAN D

Lampiran D. Analisis Statistik Hasil Penelitian

Tabel D.1 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Uji Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari ke-	Efisiensi Penurunan Fenol (%)		
	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.
0	0	0	0
6	70,89	63,37	56,80
12	88,84	81,41	63,51
15	93,08	89,10	69,26
18	94,88	91,86	79,32

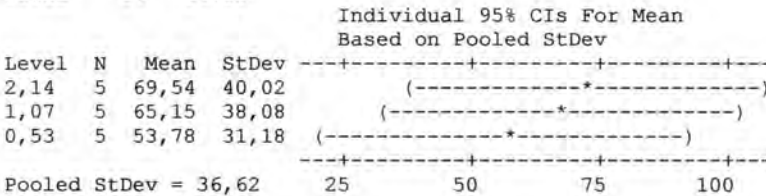
Dengan Hipotesis:

- ♦ H_0 : Efisiensi penurunan fenol sama di setiap konsentrasi
- ♦ H_1 : Efisiensi penurunan fenol berbeda minimal di satu konsentrasi

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	662	331	0,25	0,785
Error	12	16093	1341		
Total	14	16755			



Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,785, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan fenol tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor uji limbah industri *phenolic water*.

Tabel D.2 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol
Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari ke-	Efisiensi Penurunan Fenol (%)		
	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	0	0	0
6	60,73	39,24	17,07
12	83,36	76,91	57,58
15	88,63	86,42	70,83
18	92,07	90,46	77,90

Dengan Hipotesis:

- ♦ H_0 : Efisiensi penurunan fenol sama di setiap konsentrasi
- ♦ H_1 : Efisiensi penurunan fenol berbeda minimal di satu konsentrasi

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1076	538	0,39	0,685
Error	12	16517	1376		
Total	14	17593			

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev		
2,14	5	64,96	38,31	-----+-----+-----+-----		
1,07	5	58,61	38,51	(------*-----)		
0,53	5	44,68	34,32	(------*-----)		
				-----+-----+-----		
Pooled StDev = 37,10				30	60	90

Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,685, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan fenol tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor kontrol limbah industri *phenolic water*.

Tabel D.3 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Uji
Limbah Fenol Buatan

Hari ke-	Efisiensi Penurunan Fenol (%)		
	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.
0	0	0	0
6	85,02	53,84	13,22
12	91,78	83,22	67,52
15	94,55	88,66	71,18
18	95,58	92,56	79,32

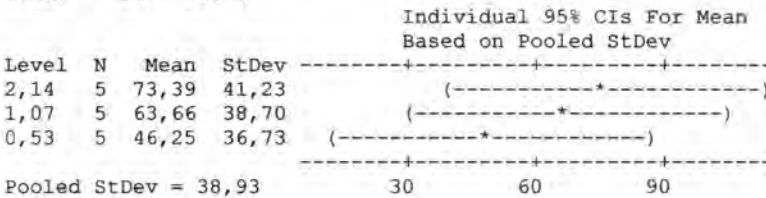
Dengan Hipotesis:

- H_0 : Efisiensi penurunan fenol sama di setiap konsentrasi
- H_1 : Efisiensi penurunan fenol berbeda minimal di satu konsentrasi

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1890	945	0,62	0,553
Error	12	18189	1516		
Total	14	20079			



Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,553, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan fenol tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor uji limbah fenol buatan.

Tabel D.4 Efisiensi Penurunan Fenol pada Reaktor Kontrol
Limbah Fenol Buatan

Hari ke-	Efisiensi Penurunan Fenol (%)		
	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	0	0	0
6	87,08	77,97	41,42
12	90,70	82,96	73,97
15	94,07	92,12	82,35
18	95,93	93,97	84,98

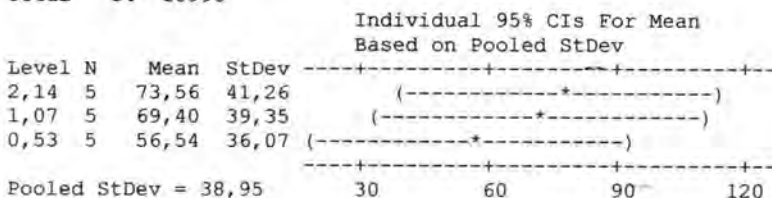
Dengan Hipotesis:

- ♦ H_0 : Efisiensi penurunan fenol sama di setiap konsentrasi
- ♦ H_1 : Efisiensi penurunan fenol berbeda minimal di satu konsentrasi

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	787	393	0,26	0,776
Error	12	18206	1517		
Total	14	18993			



Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,776, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan fenol tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor kontrol limbah fenol buatan.

Tabel D.5 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Uji
Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari ke-	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	PW 2,14 Tumb.	PW 1,07 Tumb.	PW 0,53 Tumb.
0	0	0	0
6	54,50	28,78	34,28
12	60,42	34,78	44,44
15	66,67	45,89	50,61
18	72,92	56,52	55,56
24	77,08	52,17	44,44
30	72,92	47,83	38,89

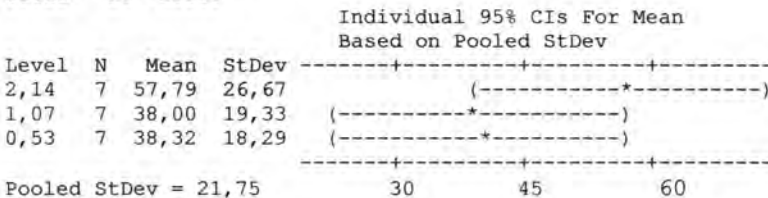
Dengan Hipotesis:

- H_0 : Efisiensi penurunan COD sama di setiap konsentrasi
- H_1 : Efisiensi penurunan COD berbeda minimal di satu konsentrasi.

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1799	899	1,90	0,178
Error	18	8516	473		
Total	20	10315			



Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,178, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan COD tidak signifikan di setiap konsentrasi limbah pada reaktor uji industri *phenolic water*.

Tabel D.6 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Kontrol
Limbah Industri *Phenolic Water*

Hari ke-	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	PW 2,14 Kontrol	PW 1,07 Kontrol	PW 0,53 Kontrol
0	0	0	0
6	18,10	37,74	31,75
12	35	68,42	68,75
15	55,55	81,29	77,78
18	65	84,21	81,25
24	88	81,58	78
30	85	73,68	75

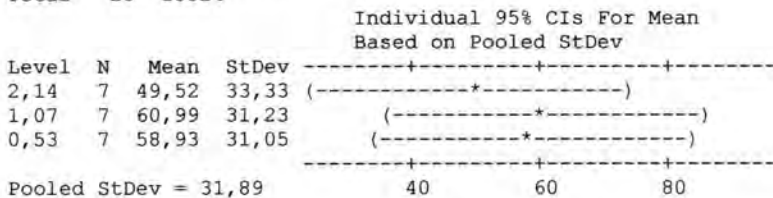
Dengan Hipotesis:

- H_0 : Efisiensi penurunan COD sama di setiap konsentrasi
- H_1 : Efisiensi penurunan COD berbeda minimal di satu konsentrasi.

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	523	262	0,26	0,776
Error	18	18301	1017		
Total	20	18824			



Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,776, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan COD tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor kontrol limbah industri *phenolic water*.

Tabel D.7 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Uji
Limbah Fenol Buatan

Hari ke-	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	FB 2,14 Tumb.	FB 1,07 Tumb.	FB 0,53 Tumb.
0	0	0	0
6	33,82	19,11	31,75
12	50	44,44	56,25
15	63,64	55,56	66,69
18	72,73	66,67	81,25
24	68,18	72,22	75,00
30	63,64	77,78	68,75

Dengan Hipotesis:

- H_0 : Efisiensi penurunan COD sama di setiap konsentrasi
- H_1 : Efisiensi penurunan COD berbeda minimal di satu konsentrasi.

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	141	70	0,09	0,914
Error	18	13989	777		
Total	20	14130			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
2,14	7	50,29	25,76	(-----*-----)			
1,07	7	47,97	28,96	(-----*-----)			
0,53	7	54,24	28,80	(-----*-----)			
-----+-----+-----+-----+-----							
Pooled StDev = 27,88				30	45	60	75

Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,914, dimana $P_{value} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan COD tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor uji limbah fenol buatan.

Tabel D.8 Efisiensi Penurunan COD pada Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan

Hari ke-	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	FB 2,14 Kontrol	FB 1,07 Kontrol	FB 0,53 Kontrol
0	0	0	0
6	46,92	36,30	31,75
12	66,67	50	50
15	77,79	55,55	55,56
18	83,33	70	62,50
24	75	65	75
30	58,33	60	63

Dengan Hipotesis:

- H_0 : Efisiensi penurunan COD sama di setiap konsentrasi
- H_1 : Efisiensi penurunan COD berbeda minimal di satu konsentrasi.

One-way ANOVA: 2,14; 1,07; 0,53

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	476	238	0,35	0,706
Error	18	12095	672		
Total	20	12572			


Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
2,14	7	58,29	28,53	(-----*-----)
1,07	7	48,12	23,87	(-----*-----)
0,53	7	48,26	25,14	(-----*-----)

Pooled StDev = 25,92

30 45 60 75

Berdasarkan perhitungan secara ANOVA digunakan $\alpha = 0,005$ didapatkan nilai P_{value} sebesar 0,706, dimana $P_{\text{value}} > \alpha$ sehingga terima H_0 . Dengan demikian perbedaan efisiensi penurunan COD tidak signifikan di setiap konsentrasi pada reaktor kontrol limbah fenol buatan.

The background of the page is a repeating pattern of the ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) logo and the text 'ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember' in a light blue color. The logos are arranged in a grid-like fashion across the entire page.

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Dina Trisiana Iskandar, merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis dilahirkan di Nganjuk tanggal 16 Maret 1986. Pendidikan formal yang telah ditempuh, yaitu TK Caraka Yudha Surabaya, SDN Wedoro II Waru Sidoarjo, SD Kartika V-8 Surabaya, SLTPN 16 Surabaya dan SMUN 18 Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS melalui jalur SPMB pada tahun 2003. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum

Kimia Lingkungan tahun 2003. Penulis sempat aktif dan mengemban jabatan di organisasi intern ITS, seperti Staf Humas dan Info Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) 2003/2004, Anggota Dewan Perwakilan Angkatan HMTL 2004/2005 dan Asisten Direktur Humas Bidang Internal KOPMA Dr. Angka ITS 2004/2005. Selain itu penulis juga pernah menjadi finalis 15 besar Lomba Karya Tulis (LKTM) Bidang Seni Tingkat Nasional 2007 dengan judul "Film Animasi Sebagai Media Edukasi Sejarah Nasional Bagi Anak Usia Sekolah".