

30487/H/07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSL
628.357
Hamm
P-1
2007

FINAL PROJECT

**PHENOL REMOVAL OF PT XYZ INDUSTRIAL
WASTE BY WATER HYACINTH (*EICHHORNIA
CRASSIPES*)**

FATIN HAMAMAH
NRP 3303 100 061

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	7-8-2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	229445

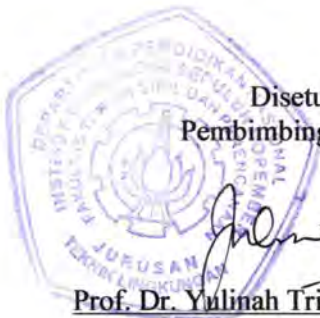
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

**PENYISIHAN FENOL PADA LIMBAH INDUSTRI DARI
PT XYZ DENGAN ECENG GONDOK
(*EICHHORNIA CRASSIPES*)**

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

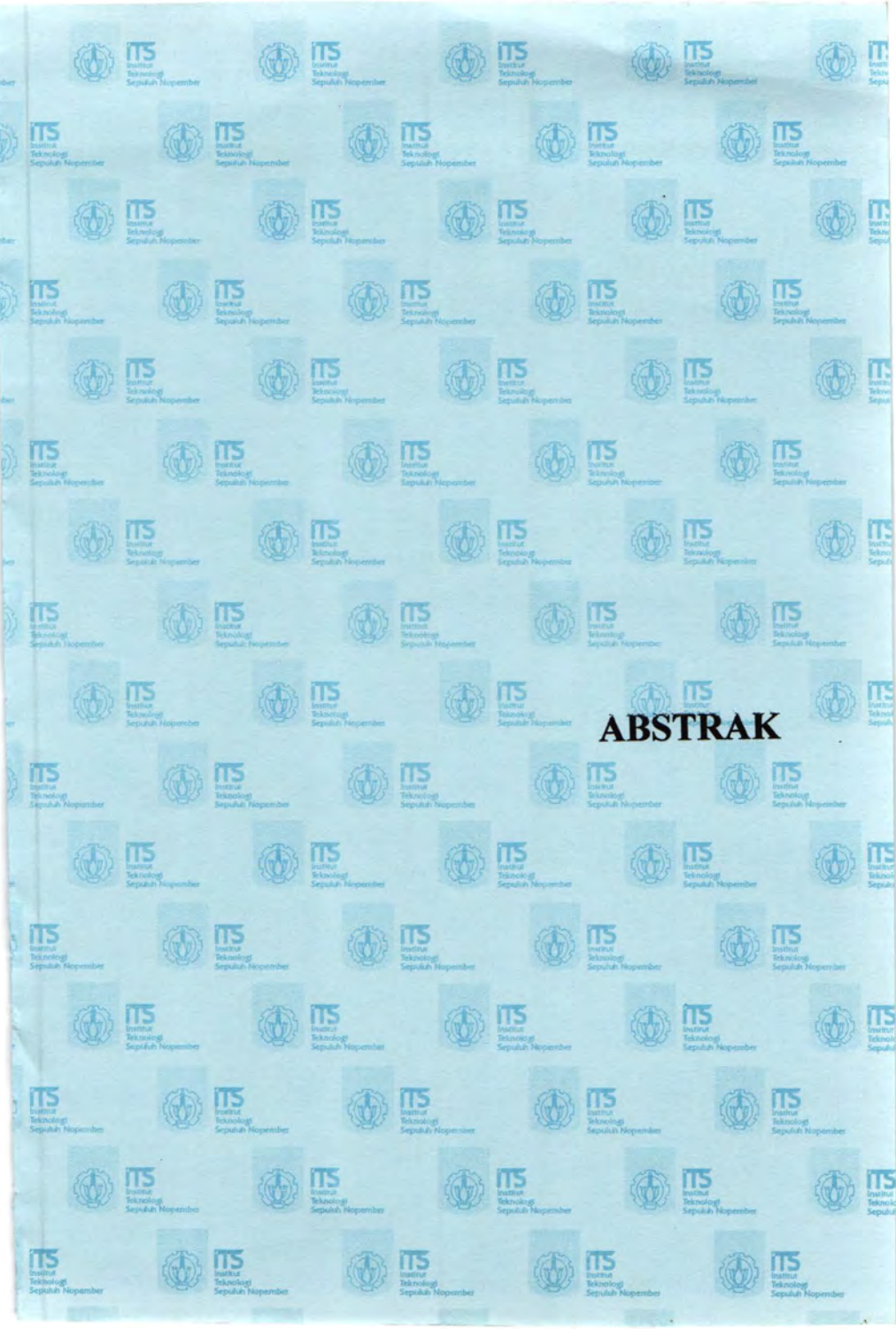
Oleh :
FATIN HAMAMAH
Nrp. 3303 100 061



Disetujui oleh
Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MappSc.
Nip. 131409016

**SURABAYA
JULI, 2007**



ABSTRAK

PENYISIHAN FENOL PADA LIMBAH INDUSTRI DARI PT XYZ DENGAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)

Nama Mahasiswa : Fatin Hamamah
NRP : 3303 100 061
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

Abstrak

Fenol merupakan salah satu jenis senyawa organik yang banyak dijumpai dalam limbah industri di Indonesia. Fenol sangat berbahaya karena dapat mencemari lingkungan dan pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan manusia serta kematian pada organisme lain. Pengolahan limbah fenol secara kimia dan biologis belum menunjukkan tingkat penyisihan yang baik. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian mengenai pengolahan tersier limbah fenol dengan tanaman air guna mengurangi efek toksik dari air limbah sehingga menjadi aman bagi lingkungan.

Dalam penelitian ini digunakan limbah *phenolic water* dari PT XYZ dan limbah fenol buatan. Tanaman air yang digunakan adalah eceng gondok (*Eichhorniae crassipes*). Sebagai pembanding, digunakan kontrol berupa limbah fenol yang tidak ditanami eceng gondok.

Penyisihan konsentrasi fenol pada limbah *phenolic water* terbesar terjadi pada konsentrasi 6,41 mg/l dengan efisiensi sebesar 94,54 %. Sedangkan pada limbah fenol buatan efisiensi penyisihan terbesar juga terjadi pada konsentrasi 6,41 mg/l yaitu sebesar 97,74%.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa peran eceng gondok dalam penyisihan fenol sangat kecil. Hal ini dapat dilihat dari kecilnya perbedaan efisiensi penyisihan antara reaktor uji dan reaktor kontrol. Perbedaan efisiensi penyisihan pada limbah *phenolic water* sebesar 0,16 % sedangkan pada fenol buatan sebesar 1,32 %. Bahkan pada limbah fenol buatan efisiensi penyisihan reaktor kontrol lebih besar daripada reaktor uji.

Kata kunci: *phenolic water*, fenol buatan, eceng gondok, penyisihan.

PHENOL REMOVAL OF PT XYZ INDUSTRIAL WASTE BY WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*)

Name : Fatin Hamamah
ID No : 3303 100 061
Department : Environmental Engineering FTSP-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

Abstract

Phenol is one of organic matters which has quite often found in industrial waste water in Indonesia. Phenol is very dangerous not only to the environment, but also to human and other organism health. Neither chemical nor biological treatment of phenolic waste has shown good removal performance. For this reason, a research on phenol waste treatment using a water plant bioreactor to reduce the toxic effect of the wastewater was implemented.

In this research, phenolic water from PT XYZ and artificial phenol waste was used. The water plant used in this research was water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). A reactor with phenol waste without water hyacinth is used as control.

The result of batch process showed that the largest efficiency of phenol removal (94,54 %) occurred at a concentration of 6,41 mg/L. Whereas in artificial phenol waste bioreactor, the largest removal efficiency of 97,74 %, occurred at the same phenol concentration.

It was found in this research that the role of water hyacinth on phenol removal was insignificant. The removal efficiency difference between the tested phenolic waste water and that of control reactor was very little; namely 0,16 % in phenolic industrial waste water and 1,32% in the artificial phenol bioreactor. Phenol removal efficiency in control reactor of the artificial waste was larger than that of the test bioreactor.

Key words: *phenolic water*, artificial phenol, water hyacinth, removal.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas karunia-Nya laporan tugas ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk melengkapi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Dengan tugas akhir ini, mahasiswa diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu yang diperoleh dan dapat memberikan informasi yang dibutuhkan oleh pembaca. Dalam penyusunan laporan ini penyusun menyampaikan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc. selaku dosen pembimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Bapak dan Ibu Laboran serta perpustakaan Teknik Lingkungan yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Umi dan kakak-kakakku yang selalu memberikan doa dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta Ayah (alm) yang telah membuat saya seperti sekarang, terima kasih ayah.
4. Terima kasih untuk kegiatan hibah penelitian, Program Hibah Kompetisi A2 Jurusan Teknik Lingkungan Tahun 2007.
5. Ratih, Mbak Ninit, Fajar, Eliza, Mbak Meme, Mbak Evy dan teman-teman kos 3C yang selalu memberi semangat dan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman angkatan 2003 dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu sehingga tugas akhir ini bisa diselesaikan dengan baik.

Akhir kata penulis menyadari tentunya ada kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karenanya sangat diharapkan saran maupun kritik yang membangun dari pembaca.

Surabaya, Juli 2007

Penulis



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	
Lembar Pengesahan.....	
Abstrak	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel	xvii
Daftar Lampiran.....	xxi

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

2.1 Fenol.....	5
2.1.1 Mekanisme Degradasi Senyawa Fenol.....	6
2.1.2 Proses Pembentukan <i>Phenolic Water</i>	8
2.2 Fitoremediasi.....	9
2.3 Tumbuhan Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	11
2.3.1 Morfologi	11
2.3.2 Perkembangbiakan	12
2.3.3 Sistematika dalam Taksonomi	13
2.3.4 Faktor Yang mempengaruhi Pertumbuhan Eceng Gondok	14
2.4 Kebutuhan Unsur hara Oleh Tumbuhan.....	14
2.4.1 Unsur Hara Tumbuhan	14
2.4.2 Kebutuhan Air.....	15
2.4.3 Mekanisme Penyerapan Unsur Hara oleh Tumbuhan	15

2.5 Fotosintesis.....	17
2.6 Respirasi.....	17
2.7 Evapotranspirasi.....	18
2.8 Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik.....	19
2.9 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>).....	20
2.10 Laju Reaksi.....	21

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian.....	23
3.2 Tahapan Penelitian.....	23
3.2.1 Studi Literatur.....	23
3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	26
3.2.3 Penelitian Pendahuluan.....	28
3.2.4 Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.2.5 Analisis Data dan Pembahasan.....	36
3.2.6 Kesimpulan.....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Yang Digunakan.....	39
4.2 Penelitian Pendahuluan.....	40
4.2.1 Aklimatisasi.....	41
4.2.2 Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Fenol.....	41
4.3 Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> dengan Memanfaatkan Eceng Gondok.....	45
4.3.1 Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	45
4.3.2 Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	54
4.3.3 Pengukuran pH.....	63
4.3.4 Pengukuran Suhu.....	68
4.4 Limbah fenol Buatan dengan Memanfaatkan Eceng Gondok.....	70
4.4.1 Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	70
4.4.2 Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan.....	80
4.4.3 Pengukuran pH.....	89

4.4.4	Pengukuran Suhu.....	93
4.5	Laju Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	95
4.5.1	Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Sistem Bioreaktor Eceng Gondok	96
4.5.2	Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok.....	98
4.6	Laju Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	101
4.6.1	Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Sistem Bioreaktor Eceng Gondok	101
4.6.2	Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok.....	104
4.7	Alternatif Pengolahan Sekunder Limbah Fenol	107
BAB V KESIMPULAN		109
Daftar Pustaka		111
Lampiran		115

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Bangun Fenol.....	5
Gambar 2.2	Mekanisme Degradasi Fenol Secara Biologis....	7
Gambar 2.3	Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi ...	8
Gambar 2.4	Bak Penampung <i>Phenolic Water</i>	9
Gambar 2.5	Eceng Gondok.....	13
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian.....	25
Gambar 3.2	Reaktor Untuk Penelitian	26
Gambar 3.3	Susunan Reaktor Uji 1 dengan 3 Variasi Konsentrasi	31
Gambar 3.4	Susunan Reaktor Uji 2 dengan 3 Variasi Konsentrasi	32
Gambar 3.5	Susunan Reaktor Kontrol 1 dengan 3 Variasi Konsentrasi	33
Gambar 3.6	Susunan Reaktor Kontrol 2 dengan 3 Variasi Konsentrasi	34
Gambar 4.1	Limbah Fenol Buatan.....	39
Gambar 4.2	Limbah <i>Phenolic Water</i>	41
Gambar 4.3	Aklimatisasi Eceng Gondok.....	42
Gambar 4.4	Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok dengan Konsentrasi Fenol 19,23 mg/L (a) dan 12,82 mg/L (b)	43
Gambar 4.5	Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok dengan Konsentrasi Fenol 9,62 mg/L (a) dan 7,69 mg/L (b)	44
Gambar 4.6	Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok dengan Konsentrasi Fenol 6,41 mg/L (a); 5,49 mg/L (b); 4,81 mg/L (c) dan 4,27 mg/L (d)	45
Gambar 4.7	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L.....	47
Gambar 4.8	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	47

Gambar 4.9	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	48
Gambar 4.10	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L.....	49
Gambar 4.11	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	49
Gambar 4.12	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	49
Gambar 4.13	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L	51
Gambar 4.14	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L	52
Gambar 4.15	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L	52
Gambar 4.16	Reaktor Kontrol Limbah <i>Phenolic Water</i>	53
Gambar 4.17	Grafik Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L.....	55
Gambar 4.18	Grafik Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	55
Gambar 4.19	Grafik Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	56
Gambar 4.20	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L	58
Gambar 4.21	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L	59
Gambar 4.22	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L	60
Gambar 4.23	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L.....	60
Gambar 4.24	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	61
Gambar 4.25	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	61
Gambar 4.26	Reaktor Kontrol Limbah <i>Phenolic Water</i>	61
Gambar 4.27	Grafik Penurunan COD Pada Reaktor	

	Kontrol (tanpa limbah).....	62
Gambar 4.28	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah).....	63
Gambar 4.29	Grafik Nilai pH Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L.....	65
Gambar 4.30	Grafik nilai pH Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	65
Gambar 4.31	Grafik Nilai pH Pada Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	66
Gambar 4.32	Grafik Pengukuran Suhu Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b).....	69
Gambar 4.33	Grafik Pengukuran Suhu Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	70
Gambar 4.34	Grafik Penurunan Fenol Hasil Proses Evaporasi Konsentrasi 6,41 mg/L.....	72
Gambar 4.35	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	73
Gambar 4.36	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	73
Gambar 4.37	Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	74
Gambar 4.38	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	74
Gambar 4.39	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	75
Gambar 4.40	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	75
Gambar 4.41	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L	76
Gambar 4.42	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Hasil Proses Evaporasi Konsentrasi 6,41 mg/L	77
Gambar 4.43	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada	

	Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L	78
Gambar 4.44	Grafik Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L	79
Gambar 4.45	Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan.....	79
Gambar 4.46	Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	81
Gambar 4.47	Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	81
Gambar 4.48	Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	82
Gambar 4.49	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L	84
Gambar 4.50	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L	84
Gambar 4.51	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L	85
Gambar 4.52	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	85
Gambar 4.53	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	86
Gambar 4.54	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	86
Gambar 4.55	Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b) ...	86
Gambar 4.56	Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L	87
Gambar 4.57	Grafik Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah).....	87
Gambar 4.58	Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah).....	88
Gambar 4.59	Grafik Nilai pH Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	90
Gambar 4.60	Grafik nilai pH Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	91
Gambar 4.61	Grafik Nilai pH Pada Limbah	

	Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	91
Gambar 4.62	Grafik Pengukuran Suhu Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b).....	94
Gambar 4.63	Grafik Pengukuran Suhu Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	95
Gambar 4.64	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,4mg/L.....	96
Gambar 4.65	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L.....	97
Gambar 4.66	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L.....	97
Gambar 4.67	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> ..	98
Gambar 4.68	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L.....	99
Gambar 4.69	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L.....	99
Gambar 4.70	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L.....	100
Gambar 4.71	Grafik Laju Penurunan Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaksi Kontrol.....	100
Gambar 4.72	Grafik Perbandingan Laju Penurunan Pada Reaktor Uji dan Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L.....	101
Gambar 4.73	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L.....	102
Gambar 4.74	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L.....	103
Gambar 4.75	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L.....	103

Gambar 4.76	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan.....	104
Gambar 4.77	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L.....	105
Gambar 4.78	Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L.....	105
Gambar 4.79	Grafik Laju Reaksi Limbah fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L.....	106
Gambar 4.81	Grafik Laju Reaksi Limbah Fenol Buatan Pada Reaksi Kontrol.....	106
Gambar 4.81	Grafik Perbandingan Laju Penurunan Pada Reaktor Uji dan Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L.....	107
Gambar A.1	Panjang Gelombang Optimum.....	116
Gambar A.2	Kurva Kalibrasi Fenol I.....	118
Gambar A.3	Kurva Kalibrasi Fenol II.....	118
Gambar A.4	Kurva Kalibrasi Fenol III.....	119
Gambar A.5	Kurva Kalibrasi Fenol IV.....	120
Gambar D.1	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L Hari ke-0.....	139
Gambar D.2	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L Hari ke-0.....	139
Gambar D.3	Reaktor Penelitian Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L Hari ke-0.....	139
Gambar D.4	Reaktor Kontrol Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Hari ke-0.....	140
Gambar D.5	Reaktor Penelitian Limbah fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L Pada Hari ke-0.....	140

Gambar D.6	Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L Pada Hari ke-0.....	141
Gambar D.7	Reaktor Penelitian Limbah Phenolic Water Konsentrasi 2,56 mg/L Pada Hari ke-0.....	141
Gambar D.8	Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L dan 4,27 mg/L Pada Hari Ke- 0.....	141
Gambar D.9	Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L Pada Hari Ke- 0.....	142
Gambar D.10	Reaktor Kontrol (Tanpa Limbah) Pada Hari ke-0.....	142
Gambar D.11	Refluks COD.....	143



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik Limbah Industri <i>Phenolic Water</i> PT XYZ.....	40
Tabel 4.2	Data Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok Terhadap Media Tanam Air Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	43
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	46
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	50
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Penurunan COD	54
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah <i>Phenolic Water</i>	57
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol.....	62
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol.....	63
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Nilai pH.....	64
Tabel 4.10	Hasil Pengukuran Suhu	68
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	71
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Penurunan Fenol Hasil Proses Evaporasi.....	72
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	75
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan Penurunan COD	80
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan.....	83
Tabel 4.16	Hasil Perhitungan Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol.....	87
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol.....	88
Tabel 4.18	Hasil Pengukuran Nilai pH.....	89

Tabel 4.19	Hasil Pengukuran Suhu	93
Tabel 4.20	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 6,41 mg/L	96
Tabel 4.21	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 4,27 mg/L	96
Tabel 4.22	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Konsentrasi 2,56 mg/L	97
Tabel 4.23	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L	98
Tabel 4.24	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L	99
Tabel 4.25	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah <i>Phenolic Water</i> Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L	100
Tabel 4.26	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L	102
Tabel 4.27	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L	102
Tabel 4.28	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L	103
Tabel 4.29	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L	104
Tabel 4.30	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L	105
Tabel 4.31	Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L	106
Tabel A.1	Hasil Pengukuran Panjang Gelombang Optimum	116
Tabel A.2	Hasil Kalibrasi Fenol I (24 April 2007).....	117
Tabel A.3	Hasil Kalibrasi Fenol II (30 April 2007).....	118

Tabel A.4	Hasil Kalibrasi Fenol III (7 Mei 2007).....	119
Tabel A.5	Hasil Kalibrasi Fenol IV (18 Juni 2007).....	119
Tabel C.1	Hasil Pengukuran Nilai Absorban Fenol.....	125
Tabel C.2	Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol.....	126
Tabel C.3	Hasil Perhitungan Nilai COD.....	126
Tabel C.4	Hasil Pengukuran pH	127
Tabel C.5	Hasil Pengukuran Suhu	129
Tabel C.6	Hasil Pengukuran Nilai Absorban Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	130
Tabel C.7	Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan.....	131
Tabel C.8	Hasil Pengukuran Nilai COD Pada Limbah Fenol Buatan.....	132
Tabel C.9	Hasil Pengukuran pH Limbah Fenol Buatan.....	133
Tabel C.10	Hasil Pengukuran Suhu Limbah Fenol Buatan	134
Tabel C.11	Hasil Perhitungan Nilai COD Pada Reaktor Kontrol.....	135
Tabel C.12	Hasil Pengukuran dan Suhu	136
Tabel C.13	Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol.....	137
Tabel E.1	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng Gondok Terhadap Penurunan Fenol Dalam Limbah <i>Phenolic Water</i>	145
Tabel E.2	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan Fenol Dalam Limbah <i>Phenolic Water</i>	146
Tabel E.3	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng Gondok Terhadap Penurunan Fenol Dalam Limbah Fenol Buatan.....	147
Tabel E.4	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan Fenol Dalam Limbah	
Tabel E.5	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol	

	Awal Pada Bioreaktor Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Dalam Limbah <i>Phenolic Water</i>	149
Tabel E.6	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Dalam Limbah <i>Phenolic Water</i>	150
Tabel E.7	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Dalam Limbah Fenol Buatan.....	151
Tabel E.8	Uji Statistik Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Dalam Limbah Fenol Buatan.....	152



DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

- Pembuatan Kurva Kalibrasi Fenol..... 115

LAMPIRAN B

- Prosedur Analisa Fenol..... 121
- Prosedur Analisa COD 122
- Pengukuran pH dan Suhu 124

LAMPIRAN C

- Data Hasil Penelitian 125
- Hasil Analisa BPKI 138

LAMPIRAN D

- Dokumentasi Penelitian..... 139

LAMPIRAN E

- Uji Statistik..... 145





BAB I PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta aplikasinya, maka aktivitas manusia dalam rangka meningkatkan taraf hidupnya semakin meningkat pula. Hal ini diiringi dengan semakin meningkatnya limbah yang merupakan hasil samping dari aktivitas manusia baik industri maupun rumah tangga. Limbah-limbah tersebut apabila tidak ditangani dengan baik dapat membahayakan makhluk hidup dan mencemari lingkungan sekitarnya.

Salah satu limbah yang banyak ditemukan dalam limbah industri di Indonesia adalah limbah fenol. Industri – industri penghasil limbah fenol antara lain industri migas, perekat, kayu lapis, farmasi, cat, tekstil, keramik, plastik dan sebagainya. Selain itu fenol juga terdapat pada limbah domestik dimana salah satunya berasal dari sisa pembersih lantai. Limbah fenol tergolong limbah berbahaya, bersifat racun dan korosif. Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap, serta pada nilai konsentrasi tertentu dapat menyebabkan kematian organisme di perairan tersebut. Selain itu apabila terminum dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia seperti gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limpa serta dapat menyebabkan kegagalan sirkulasi darah dan kematian akibat kegagalan pernafasan. Untuk itu diperlukan suatu pengolahan, sebagai usaha menurunkan kadar fenol dalam air limbah sehingga menjadi aman bagi lingkungan.

Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, menetapkan konsentrasi fenol yang dapat digunakan untuk air baku air minum adalah 1 $\mu\text{g/l}$. Sedangkan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur, menetapkan konsentrasi maksimum fenol adalah 1 mg/l .

Oleh karena itu diperlukan adanya pengolahan senyawa fenol pada limbah industri sebelum dibuang ke badan air. Salah satu alternatif pengolahan fenol adalah dengan menggunakan tumbuhan air yang memiliki kemampuan untuk menurunkan air limbah. Pengolahan limbah fenol dengan tumbuhan ini memungkinkan untuk dilakukan karena fenol merupakan polutan organik dengan gugus aromatik dan gugus hidroksil (-OH) terikat pada cincin benzene yang potensial untuk di biodegradasi dengan oksidasi. Konsep pengolahan air limbah dengan menggunakan tanaman atau lebih populer dengan fitoremediasi ini mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya tinggi. Tumbuhan air yang akan digunakan dalam penelitian adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

Eceng gondok telah digunakan dalam sistem pengolahan air limbah di banyak negara karena eceng gondok mempunyai ketahanan tinggi terhadap kontaminan. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan manfaat eceng gondok dalam mengolah limbah, misalnya eceng gondok dapat menyerap dan mengumpulkan logam berat dalam jumlah besar (Gopal dan Sharma, 2002 dalam Suwariyanti, 2002). Slamet (1992; dalam Nugraheni, 2001) menyatakan eceng gondok mampu tumbuh dengan baik dan menyerap zat organik *non biodegradable* dalam air limbah domestik dengan kadar COD ± 400 mg COD/L. Hal ini dapat dilakukan apabila unsur hara yang dibutuhkan terpenuhi dan pH maksimum 8. Dari hasil beberapa penelitian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam menurunkan kandungan fenol dalam limbah industri. Limbah industri yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah dari PT XYZ yaitu *phenolic water*.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah konsentrasi maksimum fenol yang dapat diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor eceng gondok.
2. Berapakah besar kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam mengurangi kandungan fenol dalam air limbah.
3. Membandingkan kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam menurunkan kandungan fenol pada limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ.

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 tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).
3. Air limbah yang digunakan adalah limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ.
4. Dilakukan penelitian pendahuluan yaitu aklimatisasi (pengadaptasian eceng gondok) dan penentuan konsentrasi maksimum yang dapat diserap oleh eceng gondok
5. Variasi yang dilakukan adalah:
 - Variasi jenis limbah, yaitu limbah fenol buatan dan limbah *phenolic water*.
 - Variasi konsentrasi limbah.
6. Parameter utama yang diteliti adalah:
 - a) Konsentrasi fenol dalam limbah.
 - b) COD
 - c) pH
 - d) Temperatur

7. Reaktor uji yang digunakan sebagai media tanam terbuat dari bahan plastik berbentuk silinder dengan diameter \pm 30 cm dan tinggi \pm 30 cm.
8. Digunakan kontrol, yaitu sistem reaktor dengan limbah fenol tanpa eceng gondok dan eceng gondok yang diaplikasikan pada air kolam.
9. Penelitian dilakukan selama 30 hari pada masing-masing variasi.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan konsentrasi maksimum fenol yang dapat diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor eceng gondok.
2. Menentukan kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam menurunkan kadar fenol pada limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* dengan konsentrasi yang bervariasi.
3. Membandingkan kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam menurunkan kandungan fenol pada limbah fenol buatan/sintetik dan limbah industri *phenolic water*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini:

1. Dengan diketahuinya tingkat kemampuan eceng gondok dalam menurunkan kadar fenol maka hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk aplikasi pengolahan limbah industri secara alamiah.
2. Penggunaan eceng gondok sebagai biosorben polutan organik dapat dijadikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

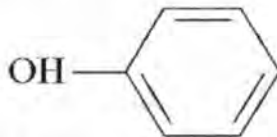


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fenol

Fenol merupakan senyawa aromatik, turunan benzene dengan gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin benzene dan mempunyai rumus molekul C_6H_5OH . Fenol termasuk salah satu senyawa karbon yang menurut ikatannya adalah senyawa aromatik. Senyawa karbon sendiri menurut bentuk ikatan karbonnya terdiri dari alifatik dan siklik. Alifatik merupakan ikatan karbon yang lurus sedangkan siklik berbentuk melingkar, seperti halnya fenol, yang rumus bangunnya biasa disederhanakan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Rumus Bangun Fenol (C_6H_5OH)
(Sumber: Fessenden & Fessenden, 1986)

Fenol ini biasanya berbentuk kristal dengan bau yang khas, bersifat racun dan korosif terhadap kulit (menimbulkan iritasi). Fenol bersifat higroskopis dengan titik leleh $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai titik didih $181,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fenol yang merupakan suatu padatan tidak berwarna ini memiliki berat molekul 94,1 gram/mol, larut dalam pelarut organik seperti metanol, etanol, larut dalam alkana 1:70 dan fenol juga larut dalam air 1:15 dengan kelarutan terbatas, yakni 8,3 gram/100 ml. Fenol bersifat polar dan akan terurai menjadi ion H^+ dan anion fenoksida ($C_6H_5O^-$) yang larut dalam air. Reaksinya sebagai berikut:



Fenol terionisasi menjadi H^+ dengan nilai $K_A = 1,2 \times 10^{-10}$ yang merupakan asam lemah. Fenol cukup beracun untuk bakteri oleh karena itu fenol digunakan secara luas sebagai obat pemusnah kuman penyakit (*germicide*) (Sawyer, McCarty and Parkin, 1990).

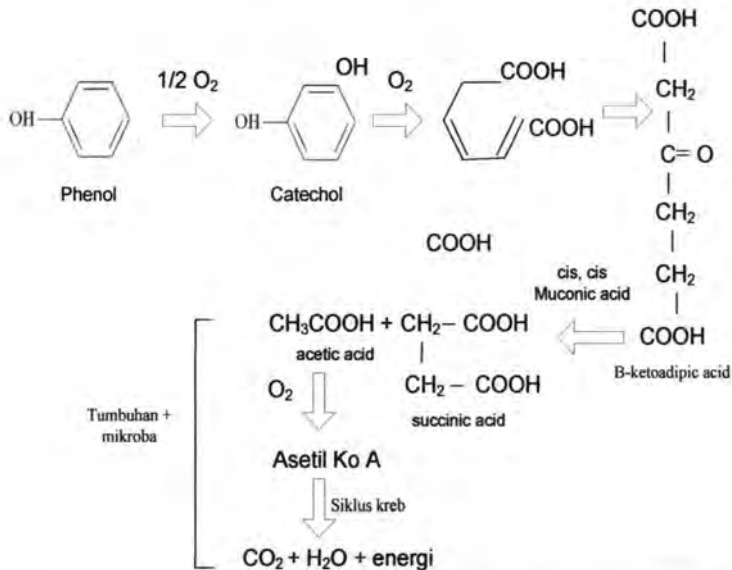
Selama ini pengolahan limbah fenol dilakukan secara *tertiary treatment* seperti adsorpsi karbon aktif, *ion exchange*, *gas stripping*, dan *solvent extraction*. Pengolahan ini dilakukan setelah pengolahan secara biologis.

Berdasarkan peraturan *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA), pengolahan fenol memiliki tingkat efisiensi sebagai berikut: pengolahan sedimentasi dengan penambahan polimer (14%), penambahan lime polimer (18%) dan penambahan alum (86 %), pengolahan *gas flotation* dengan penambahan *gas flotation* (51%), penambahan $CaCl_2$ dan polimer (57%), 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 yang berupa: *Trickling Filter* (91%), *Lagoon* (47%), *Rotating Biological Contactor* (99%), *Infiltration Percolation* (99%) dan pengolahan tersier (98%) (Martin dan Johnson, 1987).

2.1.1 Mekanisme Degradasi Senyawa Fenol

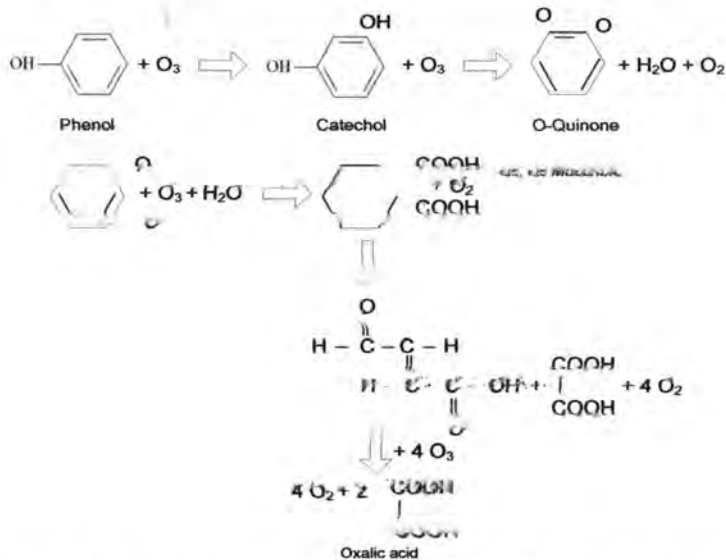
Senyawa fenol merupakan senyawa organik yang potensial untuk didegradasi. Proses degradasi fenol dapat terjadi secara kimiawi dan biologis. Secara biologis fenol didegradasi dengan bantuan enzim oksidase melalui proses oksidasi. Bakteri yang mampu mendegradasi fenol antara lain *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Arthrobacter* sp. (Prpich and Daugulis, 2005). Selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bakteri *Serratia* sp. juga mampu mendegradasi senyawa fenol

yang terkandung dalam limbah industri (Kobayashi, Daidai, Suzuki dan Nakamura, 2007). Mekanisme degradasi fenol secara biologis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



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

Degradasi fenol secara kimiawi dapat dilakukan dengan proses ozonisasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tingkat keefektifan ozonisasi terletak pada sistem injeksi. Sebaiknya sebelum injeksi dilakukan, 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. Tetapi penggunaan ozon ini sulit dilakukan pada pengolahan skala kecil karena faktor biaya yang terlalu tinggi. Mekanisme degradasi fenol secara kimiawi dengan ozonisasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme Degradasi Fenol Secara Kimiawi
(Sumber: La Greca, Buckingham & Evans, 2001)

2.1.2 Proses Pembentukan *Phenolic Water*

Phenolic water merupakan hasil samping dari proses gasifikasi batu bara. Penerapan *Clean Coal Technology (Gasifikasi)* sebagai energi alternatif pada industri merupakan upaya untuk menindak lanjuti kebijakan pemerintah mengenai penghematan BBM. Teknologi gasifikasi digunakan PT XYZ sebagai bahan baku cadangan apabila suplai gas alam dari Pertamina mengalami gangguan atau terhenti. Teknologi gasifikasi batu bara ini digunakan karena harga yang relatif murah dan teknologi yang ada telah siap diaplikasikan. Selain itu Indonesia memiliki cadangan batu bara yang berlimpah. Selain keuntungan diatas, teknologi ini juga menghasilkan dampak negatif, antara lain terbentuknya limbah *phenolic water*, tar, abu dan emisi gas (asap, SO_x, CO₂, partikulat), serta pemakaiannya tidak semudah penggunaan energi BBM dan gas.

Penggunaan *Coal Gasifier* sebesar 40 ton/hari menghasilkan limbah *phenolic water* sebesar 4 m³/hari. Pengolahan *phenolic water* secara kimia dan biologis belum menunjukkan tingkat removal yang baik. Pengolahan limbah *phenolic water* secara biologis yang telah dilakukan pihak perusahaan masih memiliki konsentrasi fenol melebihi baku mutu lingkungan sehingga tidak dapat dibuang secara langsung ke badan air (sungai). Saat ini limbah *phenolic water* hanya dapat ditampung dalam bak penampung karena belum adanya teknologi pengolahan yang efektif dan efisien.



Gambar 2.4 Bak Penampung *Phenolic Water*
(Sumber: Dokumen Pribadi PT XYZ)

2.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata *Phyto* (asal kata Yunani *phyton*) yaitu tumbuhan/tanaman (*plant*), dan remediation (asal kata Latin *remediare*) yaitu memperbaiki/menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi. Menurut Joner (2003), fitoremediasi lebih efektif untuk

meremediasi polutan organik dengan memineralisasi menjadi senyawa yang tidak toksik.

Fungsi fitoremediasi adalah menyerap dan mengakumulasi zat berbahaya, menurunkan kadar dan merubah sifat keracunan zat pencemar, menstabilisasikan zat pencemar di sekitar akar tanaman dan mengaktifkan mikroba di sekitar akar tanaman untuk mereduksi dan mengurangi sifat racun kontaminan.

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. Secara umum klasifikasi prosesnya sebagai berikut:

1. Fitostabilisasi (*phytostabilization*) yaitu akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar.
2. Fitoakumulasi (*Phytoaccumulation / phytoextraction*) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*.
3. *Rhizofiltration* (*rhizo* = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
4. Fitodegradasi (*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.
5. Rizodegradasi (*Rhizodegradation / enhanced rhizosphere biodegradation, or planted-assisted bioremediation*).

Polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat ini merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya.

6. Fitovolisasi (*Phytovolatilization*) yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diupayakan ke atmosfer.

Fitoremediasi memiliki keuntungan antara lain:

- Tidak diperlukan peralatan yang spesifik
- Akibat serta efek buruk yang berjangka panjang dari metode ini hampir tidak ada
- Relatif murah dan ramah lingkungan

Sedangkan kerugiannya:

- Hanya dapat diterapkan pada kondisi alam yang cocok dengan tanaman yang dipergunakan
- Jangkauan akar terbatas
- Kadar kontaminan yang akan direduksi juga terbatas sesuai dengan kemampuan tumbuhan

2.3 Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok merupakan tumbuhan air yang berasal dari Brazil. Di Indonesia, eceng gondok pada mulanya diperkenalkan oleh Kebun Raya Bogor pada tahun 1894 yang akhirnya berkembang di sungai Ciliwung sebagai tanaman pengganggu (*Brij dan Sharman, 1981*). Eceng gondok terkenal sebagai tumbuhan yang paling membuat masalah di dunia (*the most troublesome weed of the world*) (*Gopal dan Sharma, 1981*).

2.3.1 Morfologi

Eceng gondok termasuk tumbuhan air *floating aquatic plant* yang memiliki daun dan batang berada di atas permukaan air, sehingga dapat menerima sinar matahari secara langsung.

Tumbuhan ini mula-mula berakar pada dasar air tetapi kemudian sebagian terlepas dari tanah dan terapung. Tumbuhan eceng gondok dapat bertahan hidup pada keadaan yang sangat kritis sekalipun, baik dengan adanya nutrisi maupun tanpa nutrisi. Keberadaan nutrisi mengakibatkan pertumbuhan eceng gondok semakin cepat dan subur.

Eceng gondok dapat tumbuh baik pada perairan yang tenang dan dangkal serta tidak asin. Temperatur optimum untuk pertumbuhannya adalah antara 28 -34 °C. Dan untuk pH optimum adalah rentang pH yang menghasilkan penyerapan N, P dan K optimum yaitu antara 4,0 – 7,5 (Mangkoediharjo, 2002).

Eceng gondok memiliki tinggi yang bervariasi antara 0,2 m sampai 0,6 m atau lebih. Tumbuhan eceng gondok terdiri dari akar, helai daun, tangkai daun, dan stolon (akar rimpang). Akarnya berbentuk serabut, tidak bercabang dan memiliki tudung akar yang menonjol. Panjang akarnya bervariasi antara 10 – 30 cm. Berat akarnya sekitar 50 % atau lebih dari berat total tubuhnya. Daunnya yang tersusun dalam bentuk radikal (roset) memiliki ukuran 15 x 13 cm. Daunnya berwarna hijau mengkilat dan tangkai daun memanjang bila makin tinggi atau tumbuhnya penuh sesak. Stolon memiliki panjang lebih dari 60 cm dan mempunyai bentuk yang hampir sama dengan rimpang, tetapi stolon terletak di atas permukaan air. Bunga eceng gondok berwarna ungu kebiruan.

2.3.2 Perkembangbiakan

Perkembangbiakan eceng gondok berlangsung secara vegetatif dan generatif. Perkembangbiakan secara vegetatif dilakukan melalui stolon yaitu modifikasi batang yang berfungsi akar berada pada permukaan air. Pada ujung stolon akan tumbuh tunas baru dan tumbuh menjadi dewasa membentuk koloni baru. Pada akhir fase pertumbuhan vegetatif akan muncul bunga. Secara umum bunga akan muncul setelah berada dalam air selama 30 hari. Bunga akan melanjutkan pertumbuhan generatif. Dalam penelitian saat ini pertumbuhan generatif tidak dikaji karena telah melebihi waktu retensi sistem pengolahan air limbah. Dengan

demikian pertumbuhan vegetatif memegang peranan sangat penting dalam proses pembentukan koloni eceng gondok (*Mangkoediharjo, 2002*).

Pertumbuhan secara generatif tumbuhan eceng gondok melalui biji. Bunga yang mengalami penyerbukan rata-rata memerlukan waktu 20 hari untuk menghasilkan biji yang masak. Buah yang masak ini kemudian lepas dan pecah, biji-biji yang dihasilkan akan tenggelam di dasar, dan biji-biji tersebut akan hidup untuk beberapa tahun lamanya (*Penfound dan Earl, 1984 dalam Andri, 2002*). Berikut adalah gambar eceng gondok:



Gambar 2.5. Eceng Gondok

(Sumber : http://www.unmul.ac.id/dat/pub/lemlit/eceng_gondok.pdf)

2.3.3 Sistematika Dalam Taksonomi

Menurut Lawrence (1964) dalam Moenandir (1990), eceng gondok secara botanis mempunyai sistematika sebagai berikut :

Divisiø	: <i>Embryophytasi phonogama</i>
Sub Divisiø	: <i>Spermathopyta</i>
Klaş	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordø	: <i>Ferinosae</i>
Famili	: <i>Pontederiaceae</i>
Genus	: <i>Eichhornia</i>
Spesies	: <i>Eichhornia crassipes (Mart) Solm.</i>

2.3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Eceng Gondok

Dalam pertumbuhannya eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

a. Temperatur

Eceng gondok dapat tumbuh dengan optimum pada suhu lingkungan antara 28°C sampai 34°C sehingga tumbuhan ini akan tumbuh subur di daerah tropis dan subtropis. Pertumbuhan eceng gondok akan terhambat apabila lingkungan tempat tumbuh memiliki temperatur dibawah 10°C maupun diatas 40°C. Eceng gondok sangat toleran terhadap musim dingin (suhu 1°C) di daerah lintang utara apabila durasi waktunya singkat, tetapi dapat terbunuh bila durasinya panjang. Eceng gondok juga dapat bertahan sampai dengan suhu 40°C pada daerah tropis (Aneja dan Singh, 1992).

b. pH

Eceng gondok tumbuh secara optimal pada pH antara 4 – 7,5. Pertumbuhan akan terhambat apabila berada pada kondisi lingkungan dengan pH diatas 10. hal ini terjadi karena pada pH tersebut akan memberikan efek toksik terhadap tumbuhan.

c. Intensitas cahaya

Intensitas cahaya optimum yang diperlukan oleh eceng gondok adalah 240.000 lux-jam, sedangkan minimum sebesar 24.000 lux-jam.

d. Kadar garam (salinitas)

Eceng gondok sangat toleran terhadap level salinitas yang rendah, tetapi eceng gondok akan mati jika berada pada lingkungan dengan kadar garam lebih dari 0,2 %.

2.4 Kebutuhan Unsur Hara Oleh Tumbuhan

2.4.1 Unsur Hara Tumbuhan

Tumbuhan memerlukan unsur hara/zat-zat makanan untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya. Unsur hara esensial yang diperlukan oleh tumbuhan dibagi menjadi 2, yaitu

- 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 yang berasal dari udara yaitu CO_2 dan H_2O .

2.4.2 Kebutuhan Air

Pada prinsipnya semua jenis tumbuhan membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya. Air diperlukan 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 (Crafts, 1949 dalam Jumin, 1992).

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 (Jumin, 1992).

2.4.3 Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan

Untuk pertumbuhannya eceng gondok menyerap unsur-unsur yang diperlukan dari media tanamnya. Unsur-unsur tersebut dapat diserap oleh tanaman jika larut dalam air. Sebagian besar unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan diserap melalui akar, sedangkan untuk karbon dan oksigen diserap melalui daunnya.

Unsur-unsur hara yang diserap oleh tumbuhan terdapat dalam bentuk kation atau anion yang terlarut dalam air.

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

- 1) Pergerakan ion dari media tempat hidup tumbuhan menuju ke permukaan akar tumbuhan.

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 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 dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu.

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, pergerakan melalui simplas dimana ion-ion dikumpulkan dalam sitoplama dan bergerak dari sel yang satu ke yang lainnya melalui plasmadismata (penghubung diantara sel-sel hidup). Sedangkan yang terakhir pergerakan melalui ruang bebas dari dinding sel atau kombinasi dari ketiganya, pergerakan ini dilakukan melalui difusi dan aliran massa di antara sel.

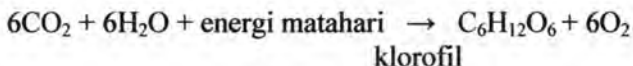
- 4) Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun, dimana pergerakan ion secara pasif melalui membran ini memerlukan adanya daya gerak sehingga tercapai kesetimbangan pada dua sisi membran (Suwariyanti, 2002).

Tumbuhan tidak memilih jenis unsur yang akan diserapnya, sehingga unsur hara yang terdapat pada media

tanamnya langsung diserap tanpa diseleksi terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan tumbuhan tidak dapat memilih unsur apa yang diperlukan maupun yang merugikan baginya. Kecepatan unsur hara dipengaruhi konsentrasi unsur hara yang terdapat dalam larutan media tanam yang diserapnya. Semakin tinggi konsentrasi maka laju penyerapan semakin tinggi pula. Kecepatan penyerapan berbeda untuk tiap jenis/varietas tumbuhan dan unsur hara yang diserap.

2.5 Fotosintesis

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



Klorofil yang dimiliki oleh tumbuhan hijau mempunyai peranan sangat penting yaitu berfungsi untuk menghantarkan energi dari cahaya matahari, menerima cahaya matahari yang diperlukan untuk fotosintesis dan untuk menolak cahaya yang tidak diperlukan.

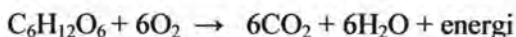
Oksigen akan dibebaskan sebagai hasil samping proses fotosintesis yang dapat dimanfaatkan oleh hewan air atau manusia. Sedangkan glukosa yang merupakan hasil utama proses fotosintesis digunakan sebagai bahan bakar dalam proses respirasi dan menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan untuk tumbuh maupun berkembangbiak.

2.6 Respirasi

Selain fotosintesis, dalam daur hidupnya tumbuhan juga melakukan kegiatan bernafas atau yang biasa dikenal dengan sebutan respirasi. Respirasi merupakan proses pembentukan energi yang dapat langsung dipakai untuk proses hidup. Dalam



proses respirasi, tumbuhan menggunakan oksigen dan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) hasil fotosintesis untuk membentuk karbondioksida (CO_2) dan H_2O . Secara sederhana reaksi respirasi adalah :



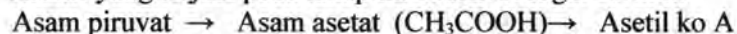
Secara rinci reaksi respirasi terdiri dari 4 tahap proses, yaitu :

a. Glikolisis

Pada tahap ini terjadi perubahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) menjadi asam piruvat. Pada reaksi ini diperlukan bantuan dari enzim glukokinase dan berlangsung dalam sitoplasma.

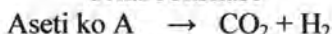
b. Dekarboksilasi oksidatif / tahap transisi / peralihan

Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah sebagai berikut:



c. Siklus Krebs

dekarboksilase

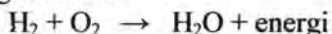


dehidrogenase

Pada tahap ini terjadi penguraian Asetil ko A menjadi CO_2 dan H_2 . Untuk reaksi ini diperlukan enzim dekarboksilase dan enzim dehidrogenase.

d. Transfer elektron

Pada tahap terjadi pembentukan energi dan H_2O . Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



2.7 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan kombinasi antara evaporasi dan transpirasi. Evaporasi merupakan konversi air ke dalam uap air. Proses ini berjalan terus (tanpa henti) di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Tetapi proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran matahari secara langsung. Sedangkan transpirasi merupakan proses pengambilan air oleh tumbuhan yang digunakan untuk kelangsungan hidupnya. Transpirasi juga mengangkut nutrien dari media tanam melalui akar dan membawanya ke berbagai jaringan tanaman serta digunakan untuk menjaga jaringan dari panas yang berlebihan. Proses

transpirasi hampir berjalan terus sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari.

Laju evapotranspirasi dari permukaan tanah dipengaruhi oleh:

- ✚ Tersedianya energi. Semakin banyak energi yang tersedia semakin besar laju evapotranspirasinya.
- ✚ Kelembaban. Kecepatan dan banyaknya uap air yang memasuki udara menyebabkan udara yang lebih kering.
- ✚ Kecepatan angin di atas permukaan tanah. Banyak yang melakukan penelitian bahwa tanaman membutuhkan air lebih banyak pada hari berangin dibandingkan dengan hari tenang dengan temperatur yang sama.
- ✚ Keberadaan air. Evapotranspirasi tidak dapat terjadi jika air tidak tersedia.

Evapotranspirasi merupakan kombinasi antara evaporasi dan transpirasi. Eceng gondok mempunyai kemampuan mengambil air dalam jumlah banyak melalui proses evapotranspirasi. Studi kemampuan evapotranspirasi/evaporasi telah banyak dilakukan dan hampir di semua benua dengan berbagai iklim menunjukkan $E_t/E > 1$. Rasio $E_t/E > 1$ menunjukkan bahwa eceng gondok mampu mengambil air lebih banyak dari tempat tumbuhnya dibandingkan kemampuan atmosferik. Eceng gondok dapat diandalkan dalam proses evapotranspirasi air limbah. 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 E_t/E (Mangkoediharjo, 2002).

2.8 Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik

Dalam sistem akuatik, bahan organik yang dapat terendapkan akan dihilangkan dengan sedimentasi dan penguraian anaerobik pada dasar kolam. Dan selama proses penguraian senyawa-senyawa organik, aktivitas mikroorganisme mempunyai peran sangat penting. Dimana bahan organik yang tersisa pada larutan dihilangkan oleh aktivitas metabolisme dari

mikroorganisme yang tersuspensi di dalam air, melekat pada sedimen/pada akar, batang tumbuhan air (Polprasert, 1989).

Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme adalah sebagai berikut :

aktivitas mikroorganisme

Bahan organik → asam-asam organik + NH_3 + CO_2 + H_2O

Karbohidrat respirasi/fermentasi

Protein

Lemak

Asam-asam organik dapat diabsorpsi oleh tumbuhan air melalui akar. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul/ion yang dapat diserap oleh tumbuhan. Hal ini dapat memacu bakteri untuk mempercepat proses penguraian bahan organik. Selain itu, proses penyerapan ion-ion oleh tumbuhan akan mencegah terjadinya penumpukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi bakteri itu sendiri. Bahan organik yang terurai menjadi senyawa anorganik dalam bentuk ion, seperti NO_3^- , NH_4^+ , H_2PO_4^- , CH_3COO^- dan lain-lain yang dapat diserap tumbuhan.

2.9 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Berdasarkan Alaert dan Santika (1987), *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah oksigen (mg/l) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air dimana $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Tidak semua zat-zat organik dalam air buangan maupun air permukaan dapat dioksidasi melalui tes COD. Adapun zat-zat yang dapat dioksidasi oleh analisa COD adalah sebagai berikut:

1. Zat organik yang biodegradable (protein, gula dan sebagainya).

2. Selulosa dan sebagainya.
3. N organik yang biodegradable (protein dan sebagainya).
4. N organik yang non biodegradable.
5. Hidrokarbon aromatik.

Hasil pengukuran COD biasanya lebih tinggi dari hasil pengukuran BOD₅ karena sejumlah bahan organik yang resisten/tahan terhadap oksidasi mikrobial yang tidak terukur pada tes BOD₅ akan teroksidasi secara kimiawi dan terukur pada tes COD. Keuntungan utama pada tes COD adalah waktu yang dibutuhkan untuk evaluasi. Hasil pengukuran dapat diperoleh dalam waktu 3 jam dibandingkan 5 hari yang dibutuhkan untuk pengukuran BOD₅.

COD yang berhubungan dengan zat padat yang terendapkan (*settleable solid*) di dalam air buangan dihilangkan oleh proses sedimentasi. COD terlarut dalam bentuk koloid yang masih tersisa dalam larutan dapat dihilangkan sebagai hasil dari proses aktivitas metabolisme dari mikroorganisme dan interaksi kimia fisik di dalam zona perakaran/matriks substrat (Wood, 1990). Tingkat kemampuan biodegradasi dari berbagai macam substansi organik tergantung dari kemampuan biodegradasi relatif dari material, temperatur, konsentrasi oksigen, pH, pengadaan nutrisi, konsentrasi substrat dan adanya senyawa toksin potensial (Wuhrman dalam Cooper, 1990).

2.10 Laju Reaksi

Laju reaksi digunakan untuk menyatakan kecepatan kehilangan atau pembentukan zat tertentu (Slamet dan Masduki, 2000). Menurut Martin (1994) kinetika laju reaksi dapat ditentukan dengan rumus :

$$\text{Laju} = -\frac{dc}{dt} = kC^n$$

Dimana dC_A = penurunan atau perubahan konsentrasi A
 dt = perubahan waktu
 K = konstanta

n = orde reaksi

Dari persamaan tersebut, dapat dibuktikan bahwa laju sebanding dengan kekuatan konsentrasi bahan kimia (substrat).

Lingkungan alamiah biasanya sangat kompleks, secara fisik dan kimia. Komposisi mikrobanya cukup heterogen dan unsur biotik seringkali reaktif. Sehingga penerapan model kinetika biodegradasi dalam ekosistem alamiah seringkali dipertanyakan. Beberapa faktor yang seringkali menjadi pertimbangan dalam perkiraan perhitungan kinetika dijelaskan pada beberapa keadaan alam berikut ini :

- a. Kehadiran molekul organik lainnya dapat dimetabolisme oleh spesies yang mendegradasi, dapat menekan atau menghambat penggunaan uji kimiawi.
- b. Penambahan nutrien inorganik, O_2 atau faktor pertumbuhan dapat mengubah laju perubahan, dan prosesnya dapat berakhir dengan persebaran nutrien tersebut atau mengubah laju regenerasi mikroorganisme lainnya dalam komunitas tersebut.
- c. Protozoa atau spesies parasit pada populasi mikroba yang mendegradasi dapat mempengaruhi pertumbuhan atau aktivitas mikroba (Tjahyati, 2005).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas 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

Kerangka penelitian dalam studi ini menjelaskan hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian. Ide tugas akhir dari penelitian ini adalah penyisihan fenol dengan menggunakan eceng gondok. Setelah mendapatkan ide dari tugas akhir dilakukan studi literatur, persiapan penelitian (peralatan dan bahan), penelitian pendahuluan, penelitian sesuai dengan variasi yang ada kemudian melakukan analisa dan pembahasan dan yang terakhir melakukan penarikan kesimpulan. Secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, penelitian pendahuluan, pelaksanaan penelitian, analisa dan pembahasan serta kesimpulan.

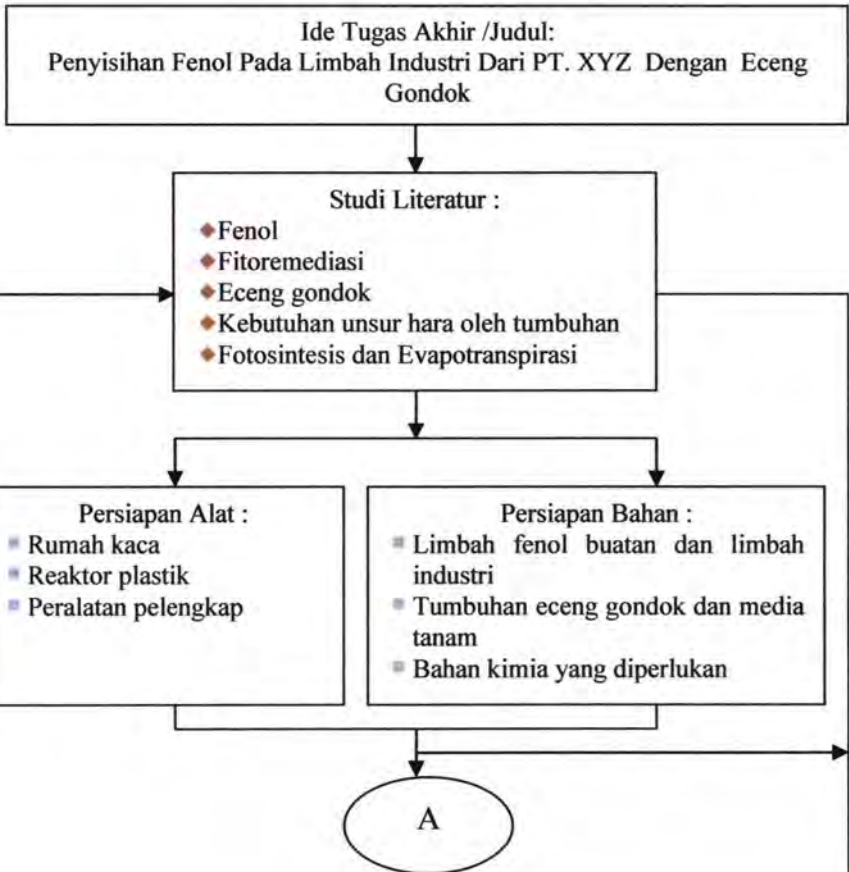
3.2.1 Studi Literatur

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:

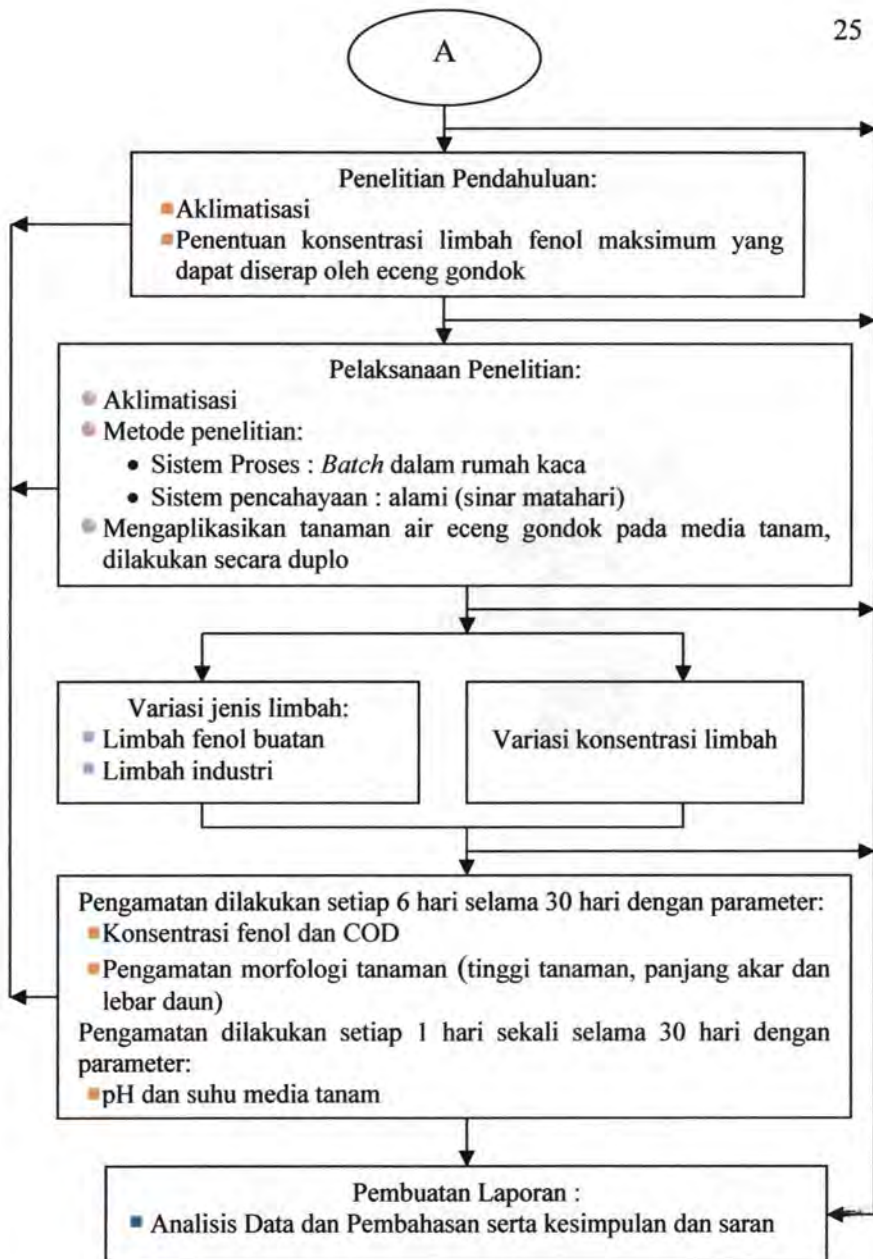
- ◆ Fenol
- ◆ Fitoremediasi

- ◆ Eceng gondok
- ◆ Kebutuhan unsur hara oleh tumbuhan
- ◆ Fotosintesis dan evapotranspirasi

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



A



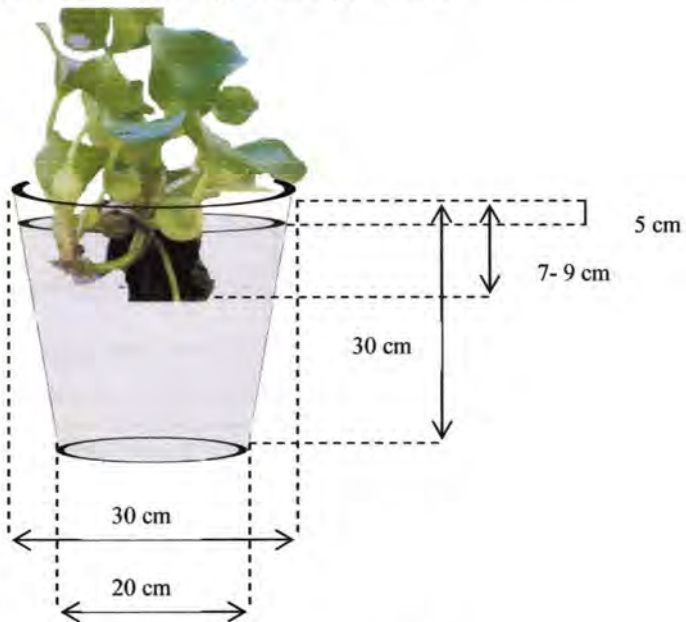
Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

3.2.2. Persiapan Alat dan Bahan

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 volume ± 20 liter dengan diameter ± 30 cm, tinggi ± 30 cm. Dimensi tersebut disesuaikan dengan morfologi tumbuhan uji dan kebutuhan tumbuh dari tumbuhan uji hingga akhir penelitian.



Gambar 3.2 Reaktor Untuk Penelitian

- Reaktor diletakkan dalam sebuah rumah kaca agar tumbuhan yang diteliti terhindar dari gangguan hama dan hujan tetapi tetap memperoleh sinar matahari dan sirkulasi oksigen.

- pH meter dan termometer
- Spektrofotometer
- Kondensor dan alat pemanas

Dilakukan pula persiapan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian ini antara lain:

- Tumbuhan eceng gondok sebagai tumbuhan uji.
Tumbuhan eceng gondok yang digunakan diambil di daerah HangTuah, Sukolilo, Surabaya dan mempunyai kriteria sebagai berikut:
 - Jumlah helai daun : 5 – 7 lembar
 - Panjang akar : 7 – 9 cm
 - Tinggi tanaman : 20 – 25 cm
 Sebelum digunakan, eceng gondok dibersihkan dan ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui beratnya. Hal ini dilakukan karena berat eceng gondok pada tiap variasi diharapkan sama.
- Limbah *phenolic water* dan fenol sebagai bahan limbah fenol buatan. Pembuatan sampel dilakukan dengan mengencerkan limbah dengan air kolam hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan.
- Air kolam sebagai air pengencer limbah.
Dalam penelitian hanya digunakan air sebagai media uji tanpa penambahan media lain, misalnya: kerikil, batu, lempung. Metode penanaman ini disebut hidroponik dengan media kultur air tanpa penambahan media lain yang bertujuan untuk memastikan bahwa penurunan parameter uji bukan oleh media lain yang bersifat absorben (Rahayu, 1992). Penggunaan air kolam dalam penelitian ini karena dalam air kolam tersebut diharapkan terdapat mikroorganisme yang berfungsi mendegradasi limbah fenol sehingga ion-ion hasil degradasi dapat diserap oleh tumbuhan uji.
- Bahan kimia yang diperlukan selama penelitian antara lain:
 - Larutan NH_4OH 0,5 N

- Larutan aminoantipirin
 - Larutan $K_3Fe(CN)_6$
 - Kristal Hg_2SO_4
 - Larutan Kalium Dikromat 0,1 N
 - Larutan H_2SO_4
 - Ag_2SO_4
 - Indikator ferroin
 - Larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,05 N
- Pupuk untuk penambahan nutrisi
Pada media tanam perlu ditambahkan nutrisi berupa pupuk NPK dengan komposisi sebagai berikut:
 - Nitrogen : 16 %
 - Fosfat : 16 %
 - Kalium : 16 %
 - Kalsium : 6 %
 - Magnesium : 0,5 %

Banyaknya pupuk yang diberikan pada tanam berdasarkan pada kebutuhan N, P, dan K yang optimum bagi pertumbuhan eceng gondok yaitu N = 100 mg/l, P = 100 mg/l dan K = 78,7 mg/l (*Widyanto, 1978 dalam Nugraheni, 2001*).

3.2.3. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan sebelum penelitian adalah:

- Aklimatisasi. Dilakukan agar eceng gondok dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang mengandung fenol yang nantinya akan menjadi tempat hidupnya. Proses aklimatisasi adalah sebagai berikut:
 - 1) Persiapan media tanam dengan konsentrasi fenol sebesar 1 ppm dan penambahan pupuk sebanyak 6,25 gram dalam 10 liter air kolam.
 - 2) Dilakukan penanaman eceng gondok selama 7 hari

- 3) Dilakukan pemilihan eceng gondok yang segar dan sehat untuk selanjutnya tanaman siap diaplikasikan, dimana sebelumnya dicuci terlebih dahulu.
- Penentuan konsentrasi maksimum fenol. Dilakukan untuk mengetahui konsentrasi maksimum fenol pada media tanam terhadap kemampuan adaptasi eceng gondok. Prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut:
 - 1) Dilakukan variasi konsentrasi larutan fenol dengan konsentrasi 19,2 ppm; 9,6 ppm dan 4,8 ppm terhadap media tanam. Pada masing-masing media tanam ditambahkan pupuk NPK sebanyak 6,25 gram dalam 10 liter air kolam. Media tanam ditempatkan dalam masing-masing reaktor dengan kedalaman \pm 18 cm.
 - 2) Dilakukan penanaman tumbuhan uji yaitu eceng gondok pada reaktor dan diamati setiap harinya selama seminggu.
 - 3) 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.
 - Analisis awal
Analisis awal yang dilakukan adalah:
 - Analisis berat awal eceng gondok dengan neraca analitik.
 - Analisis pH meter media tanam dengan menggunakan pH meter.
 - Analisis temperatur media tanam dengan menggunakan termometer.

3.2.4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan sistem *batch*, dimana penelitian dilakukan pada reaktor tanpa pemberian input maupun output selama proses penelitian berlangsung. Sistem pencahayaan dilakukan secara alami dengan menggunakan sinar matahari. Agar tanaman uji mendapatkan cahaya matahari yang cukup

maka reaktor eceng gondok diletakkan di ruang terbuka dalam rumah kaca. Penelitian dilakukan selama 30 hari dan setiap 6 hari sekali dilakukan pengamatan untuk mengukur konsentrasi fenol dan COD pada media tanam. Pengukuran pH dan temperatur media tanam dilakukan setiap hari. Jangka waktu penanaman dipilih berdasarkan pada umur vegetatif dari tanaman eceng gondok.

Selain itu selama penelitian berlangsung, dilakukan pengukuran tinggi tanaman, panjang akar dan lebar daun untuk mengetahui efek dari limbah fenol terhadap tanaman eceng gondok. Pengukuran ini dilakukan setiap 6 hari sekali.

Penelitian dilakukan secara duplo dan jumlah reaktor yang dibutuhkan pada penelitian ini sebanyak 21 buah. Reaktor uji yang ditanami oleh tumbuhan air sebanyak 12 buah. Terdapat 2 jenis reaktor kontrol yang digunakan dalam penelitian ini. Reaktor kontrol pertama merupakan reaktor kontrol yang berupa air kolam dan limbah fenol pada tiap variasi konsentrasi. Reaktor kontrol ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan bioreaktor dalam meremoval limbah fenol tanpa tumbuhan eceng gondok. Hasil proses sistem kontrol ini merupakan hasil proses mikroba dan evaporasi. Reaktor kontrol kedua berupa tumbuhan eceng gondok diaplikasikan pada air kolam. Fungsi dari reaktor kontrol ini untuk memantau banyaknya air yang terevapotranspirasi pada bioreaktor eceng gondok serta sebagai pembanding bagi pertumbuhan eceng gondok pada media tanam mengandung limbah fenol dan yang tidak mengandung limbah fenol. Dengan demikian hasil dari proses eceng gondok dapat diketahui dari selisih hasil proses sistem bioreaktor eceng gondok dan sistem kontrol 1. Susunan reaktor uji dan reaktor kontrol pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3 – 3.6.

Limbah *Phenolic Water*



Limbah Fenol Buatan



Gambar 3.3 Susunan Reaktor Uji 1 dengan 3 Variasi Konsentrasi

Limbah *Phenolic Water*



Limbah Fenol Buatan



Gambar 3.4 Susunan Reaktor Uji 2 dengan 3 Variasi Konsentrasi

Limbah *Phenolic Water*



13



14



16

Limbah Fenol Buatan



16



17



16

Gambar 3.5 Susunan Reaktor Kontrol 1 dengan 3 Variasi Konsentrasi



Gambar 3.6 Susunan Reaktor Kontrol 2

Variabel yang diteliti berupa:

- a. Jenis Limbah: limbah buatan dan limbah *phenolic water*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kemampuan reaktor eceng gondok dalam menurunkan kandungan fenol dalam limbah fenol buatan dengan limbah *phenolic water* pada jangka waktu tertentu.

- b. Konsentrasi limbah

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi fenol pada air limbah terhadap kemampuan eceng gondok dalam menurunkan kadar fenol pada jangka waktu tertentu. Pada penelitian ini digunakan variasi konsentrasi di bawah konsentrasi yang telah ditentukan pada titik kritis konsentrasi fenol.

Penelitian ini meliputi analisis parameter yang diukur, meliputi:

- Pengukuran konsentrasi fenol.

Untuk pengukuran konsentrasi fenol dilakukan menggunakan metode aminoantipirin dengan alat spektrofotometri. Sebelum dilakukan pengambilan sampel yang dilakukan setiap 6 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 For Examination Water And Wastewater, 20nd edition (1998) dan SNI 06-2412-1991:

- 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, diambil selama 15 menit.
- e) Masukkan ke dalam kuvet 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 pengoksida yaitu larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran COD:

- a) Masukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam erlemeyer.
- b) Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml air aquadest ke dalam erlenmeyer.
- c) Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N.
- d) Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- e) Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
- f) Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.



- g) Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensor sampai volume 150 ml.
 - h) Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
 - i) Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
 - j) Titrasi dengan larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah coklat. Catat volume titran.
- Pengukuran pH.
pH pada media tanam diukur dengan menggunakan pH meter.
 - Pengukuran temperatur.
Temperatur pada media tanam diukur dengan menggunakan termometer.

3.2.5. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan pada data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran parameter yang meliputi penurunan konsentrasi fenol dan kandungan COD serta 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. Dari data yang diperoleh selama penelitian dapat dihitung besarnya penurunan konsentrasi fenol dan COD pada setiap reaktor dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Prosentase Penurunan}(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

Dimana : C_1 = Konsentrasi parameter awal (mg/l)

C_2 = Konsentrasi parameter akhir (mg/l)

Data prosentase penurunan tersebut 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 berisikan uraian mengenai dasar pertimbangan penentuan hasil akhir yang telah dicapai

3.2.6. 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.



BAB IV **HASIL DAN PEMBAHASAN**

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada bab ini akan menjelaskan mengenai penyisihan fenol dalam air limbah dengan memanfaatkan eceng gondok. Terdapat 2 jenis limbah dalam penelitian, yaitu limbah fenol buatan dan limbah *phenolic water*. Dari hasil penelitian akan diketahui pada kadar berapa akan dihasilkan penurunan fenol optimum pada masing-masing jenis limbah fenol.

4.1 Karakteristik Limbah Yang Digunakan

Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah fenol buatan dan limbah industri *phenolic water* dari PT XYZ. Limbah fenol buatan dibuat dengan melarutkan kristal fenol dalam aquadest. Karakteristik limbah fenol buatan adalah :

Warna	: bening (lihat pada Gambar 4.1)
Bentuk	: larutan
pH	: 7,37
Temperatur	: 30,5
Berat Jenis	: 1,025 mg/L



Gambar 4.1 Limbah Fenol Buatan

Sedangkan limbah industri yang digunakan adalah limbah *phenolic water* dari PT XYZ yang berasal dari proses gasifikasi

batu bara. Limbah fenol ini mempunyai bau khas yang menyengat. Karakteristik limbah *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Industri *Phenolic Water* PT XYZ

No.	Karakteristik	Limbah Industri <i>Phenolic Water</i>	Baku Mutu***
1.	Bentuk	Larutan	-
2.	Warna	Coklat tua	-
3.	pH	8,02	6 - 9
4.	Temperatur	28,7°C	40°C
5.	Kadar Fenol	384,6 mg/L**	1 mg/L
6.	Kadar COD	886,5 mg/L**	100 mg/L
7.	Magnesium (Mg)	27,70 mg/L*	-
8.	Kesadahan(CaCO ₃)	280 mg/L*	-
9.	Phospat (PO ₄)	5,18 mg/L*	-
10.	Natrium (Na)	26,11 mg/L*	-
11.	Kalium (K)	8 mg/L*	-
12.	Sulfat (SO ₄)	55,71 mg/L*	-
13.	Besi (Fe)	0,75 mg/L*	-
14.	Krom (Cr)	0,03 mg/L*	1 mg/L
15.	Alumunium (Al)	4,15 mg/L*	-
16.	Sulfida (H ₂ S)	12,63 mg/L*	0,1 mg/L

Keterangan : Data Sekunder PT XYZ*

Laboratorium BPKI Surabaya, 2007 ** (Lihat Pada Lampiran C)

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



Gambar 4.2 Limbah *Phenolic Water*

Fenol dapat dibiodegradasi dan memiliki sifat penguapan yang baik. Oleh karena itu, akan terjadi proses penurunan fenol pada media dalam reaktor. Penurunan fenol merupakan hasil dari proses biodegradasi fenol dengan memanfaatkan hubungan secara alami antara mikroorganisme, tanaman dan lingkungan. Selain itu proses penguapan juga diduga dapat menurunkan kadar fenol dalam air limbah.

4.2 Penelitian Pendahuluan

Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan terdiri dari aklimatisasi eceng gondok dan penentuan konsentrasi maksimum fenol yang masih dapat ditoleransi oleh tumbuhan uji, yaitu eceng gondok.

4.2.1 Aklimatisasi

Aklmatisasi ini merupakan tahap awal pada prosedur penelitian pendahuluan. Aklimatisasi sendiri bertujuan agar tanaman uji yaitu eceng gondok, dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang nantinya akan menjadi media tumbuhnya. Aklimatisasi eceng gondok dilakukan selama 7 hari. Eceng gondok yang mampu beradaptasi pada tahap aklimatisasi akan digunakan pada penelitian pendahuluan selanjutnya. Kriteria tumbuhan uji hasil aklimatisasi yang digunakan untuk penelitian

selanjutnya adalah yang masih segar, sehat dan daunnya berwarna hijau.



Gambar 4.3 Aklimatisasi Eceng Gondok

4.2.2 Penentuan Konsentrasi Maksimum Limbah Fenol

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi optimum limbah fenol yang masih dapat ditoleransi keberadaannya oleh eceng gondok. Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *phenolic water* yang diencerkan dengan air kolam. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengamatan terhadap tumbuhan eceng gondok saja tanpa dilakukan analisis parameter uji pada media tanam. Penelitian dilakukan selama 7 hari dengan perlakuan yang sama untuk masing-masing reaktor. Berat eceng gondok untuk setiap reaktor adalah 150 gr dengan volume media tanam 10 liter. Dari penelitian ini didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok Terhadap Media Tanam Air Limbah Industri *Phenolic Water*

No. Reaktor	Pengen ceran	Konsentrasi fenol (mg/L)	Pengamatan (Hari ke -)						
			1	2	3	4	5	6	7
1	90 x	4,27	S	S	S	S	S	S	S
2	80 x	4,81	S	S	S	S	S	S	S
3	70 x	5,49	S	S	S	S	S	S	S
4	60 x	6,41	S	S	S	S	S	S	S
5	50 x	7,69	S	S	S	S	S	L	L
6	40 x	9,62	S	S	S	L	L	L	M
7	30 x	12,82	S	S	L	L	M	M	M
8	20 x	19,23	S	L	L	M	M	M	M

Keterangan:

S = Segar

L = Layu

M = Mati

Berdasarkan data diatas, dapat diketahui bahwa eceng gondok yang berada pada media tanam dengan kandungan fenol sebesar 19,23 mg/L ; 12,82 mg/L dan 9,62 mg/L tidak mampu bertahan hidup sampai akhir pengamatan. Sedangkan pada konsentrasi 7,69 mg/L eceng gondok menjadi layu, seperti terlihat pada Gambar 4.4 – 4.5 :



(a) Konsentrasi 19,23 mg/L



(b) Konsentrasi 12,82 mg/L

Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok dengan Konsentrasi Fenol 19,23 mg/L (a) dan 12,82 mg/L (b)



(a) Konsentrasi 9,62 mg/L



(b) Konsentrasi 7,69 mg/L

Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok dengan Konsentrasi Fenol 9,62 mg/L (a) dan 7,69 mg/L (b)

Kematian eceng gondok dapat terjadi karena eceng gondok mengalami keracunan akibat konsentrasi limbah fenol berlebih yang ada di dalam media tanamnya. Selain itu adanya senyawa-senyawa *toxic* lain dalam limbah phenolic water seperti Fe, Cr dan Al ikut berperan dalam kematian eceng gondok ini. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan konsentrasi maksimum Cr yang dapat ditoleransi oleh eceng gondok adalah 9 mg/L (Amalia, 2005). Bahkan kesadahan (CaCO_3) yang tinggi (>2000 mg/L) juga dapat menyebabkan kematian pada eceng gondok (Nugraheni, 2001). Apabila konsentrasi yang terakumulasi pada jaringan tumbuhan terlalu tinggi maka dapat menyebabkan terjadinya keracunan. Semakin tinggi konsentrasi maka laju penyerapan semakin tinggi pula. Sehingga pada konsentrasi fenol diatas 6,41 mg/L penyerapan dan akumulasi oleh eceng gondok akan semakin tinggi dan mengakibatkan eceng gondok mengalami keracunan.

Pada konsentrasi fenol 6,41 mg/L ; 5,49 mg/L ; 4,81 mg/L dan 4,27 mg/L, eceng gondok mampu hidup dengan kondisi tetap segar sampai akhir pengamatan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konsentrasi maksimum fenol yang masih dapat ditoleransi oleh eceng gondok adalah 6,41 mg/L. Hasil pengamatan pada eceng gondok dengan konsentrasi fenol 6,41

mg/L ; 5,49 mg/L ; 4,81 mg/L dan 4,27 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4.6 :



(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 5,49 mg/L



(c) Konsentrasi 4,81 mg/L



(d) Konsentrasi 4,27 mg/L

Gambar 4.6 Hasil Pengamatan Daya Tahan Eceng Gondok Dengan Konsentrasi Fenol 6,41 mg/L (a); 5,49 mg/L (b) ; 4,81 mg/L (c) dan 4,27 mg/L (d).

4.3 LIMBAH INDUSTRI *PHENOLIC WATER* DENGAN MEMANFAATKAN ECENG GONDOK

4.3.1 Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah *Phenolic Water*

Pada penelitian ini dilakukan analisis penurunan konsentrasi fenol dalam limbah *phenolic water*. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui kemampuan sistem bioreaktor eceng gondok dalam mendegradasi senyawa fenol. Perubahan konsentrasi fenol yang terjadi diukur menggunakan

spektrofotometer dengan panjang gelombang optimum 500 nm. Penelitian ini pada awalnya diperkirakan berlangsung selama 30 hari. Tetapi pada hari ke-18, konsentrasi fenol telah berada dalam baku mutu yang diizinkan. Oleh karena itu penelitian hanya berlangsung selama 18 hari. Hal ini sesuai dengan Keputusan Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur, bahwa konsentrasi fenol maksimal adalah 1 mg/L. Data penurunan konsentrasi limbah *phenolic water* untuk reaktor dan reaktor kontrol (tanpa tumbuhan uji) dapat dilihat pada Tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah *Phenolic Water*

Hari	Limbah <i>Phenolic Water</i> (mg/L)					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	6,41	4,27	2,56	6,41	4,27	2,56
6	1,53	1,05	0,93	2,16	1,48	0,98
12	0,51	0,43	0,45	0,51	0,5	0,32
15	0,42	0,34	0,27	0,46	0,41	0,26
18	0,35	0,26	0,22	0,36	0,33	0,26

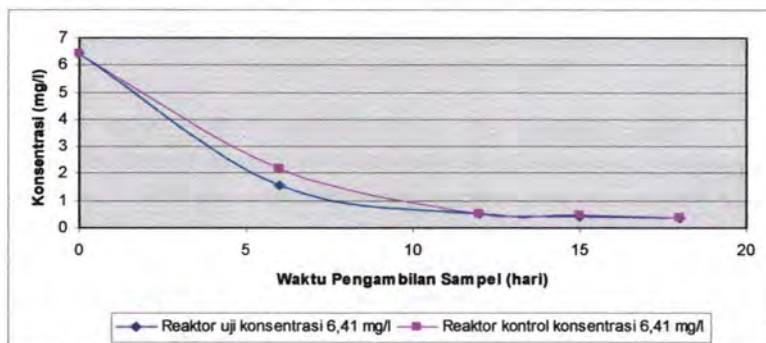
Keterangan :

- R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
- R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
- R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L
- R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
- R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
- R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

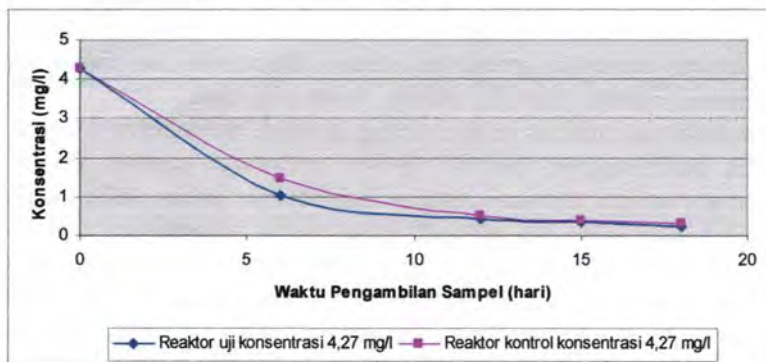
Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa penurunan fenol pada limbah *phenolic water* tidak hanya terjadi pada reaktor uji dengan eceng gondok tetapi juga pada reaktor kontrol (tanpa eceng gondok).

Penurunan fenol pada reaktor kontrol akibat dari proses biodegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada air limbah. Selain itu juga akibat dari proses evaporasi fenol yang merupakan senyawa mudah menguap.

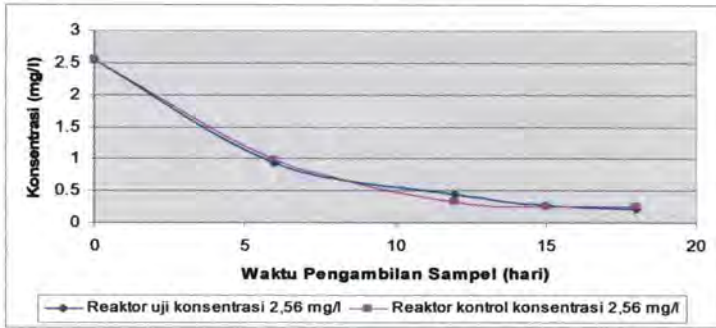
Data pada Tabel 4.3 ditampilkan dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan pembahasan mengenai penurunan fenol pada limbah *phenolic water*. Grafik hasil analisis penurunan limbah *phenolic water* pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.7 - 4.9 :



Gambar 4.7 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.8 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L



Gambar 4.9 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada Gambar 4.7 – 4.9 terlihat bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi fenol pada reaktor dengan limbah *phenolic water*. Penurunan konsentrasi fenol terbesar pada masing-masing konsentrasi terjadi pada hari ke-6 dimana sampling pertama kali dilakukan. Pada pengamatan selanjutnya penurunan fenol cenderung mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan pendapat Judaningsih (1988) yang menyebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi penyerapan unsur hara salah satunya adalah kegiatan metabolik jaringan. Sel-sel yang masih aktif, masih muda atau yang sedang tumbuh mempunyai kemampuan yang besar untuk menyerap unsur hara. Penyerapan unsur hara oleh tumbuhan dilakukan pada saat proses fotosintesis, dimana yang berperan adalah klorofil dalam daun (Sunarmi, 1990). Pada penelitian ini terlihat bahwa eceng gondok mengalami klorosis yaitu berkurangnya klorofil dalam tumbuhan sampai 24 %. Klorosis terjadi ditandai dengan berubahnya warna daun eceng gondok dari hijau tua menjadi hijau muda kekuningan. Hal ini mempengaruhi proses penyerapan unsur hara oleh eceng gondok karena apabila daun kering (berhentinya fungsi organ organisme) maka proses fotosintesis terganggu. Dan apabila proses fotosintesis terganggu maka kegiatan metabolik juga terganggu yang akhirnya mempengaruhi proses penyerapan unsur hara.

Terjadinya klorosis pada eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4.10 – 4.12 :



(a) Reaktor uji 1

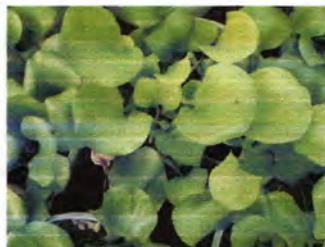


(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.10 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.11 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.12 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Penurunan konsentrasi fenol juga terjadi pada reaktor kontrol, bahkan penyisihannya hampir sama dengan reaktor uji menggunakan eceng gondok. Hasil perhitungan efisiensi penurunan fenol dapat dilihat pada Tabel 4.4 :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water*

Hari	Penyisihan Limbah <i>Phenolic Water</i> (%)					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	76,13	75,41	63,67	66,30	65,34	61,72
12	92,04	90,05	82,42	92,04	88,29	87,50
15	93,45	92,04	89,65	92,82	90,40	89,84
18	94,54	94,03	91,41	94,38	92,27	89,84

Keterangan :

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

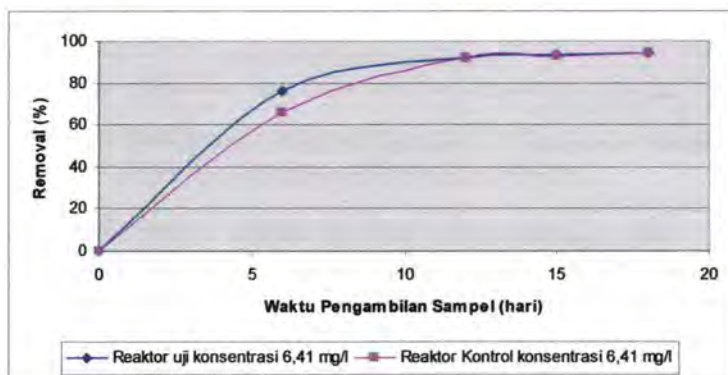
R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

Reaktor uji dengan konsentrasi 6,41 mg/L memiliki efisiensi penyisihan fenol terbesar yaitu sebesar 94,54 %. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi konsentrasi maka laju penyerapan semakin tinggi pula (Bryan, 1979 dalam Dewi, 2000). Walaupun demikian perbedaan efisiensi penyisihan fenol pada konsentrasi 6,41 mg/L dan konsentrasi 4,27 mg/L sangat kecil yaitu sebesar 0,51 %. Sedangkan pada konsentrasi 2,57 mg/L efisiensi penyisihan konsentrasi fenol sebesar 91,41 %. Pada reaktor kontrol, efisiensi penyisihan fenol juga terjadi dalam

jumlah besar yaitu 94,38 % untuk konsentrasi 6,41 mg/L ; 92,38 % untuk konsentrasi 4,27 mg/L dan 89,84 % untuk konsentrasi 2,56 mg/L.

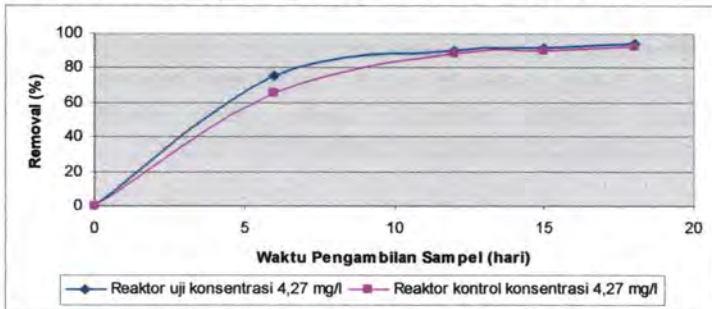
Data pada Tabel 4.4 ditampilkan dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan pembahasan mengenai penurunan fenol pada limbah *phenolic water*. Grafik hasil analisis efisiensi penurunan limbah *phenolic water* pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.13 - 4.15 :



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L

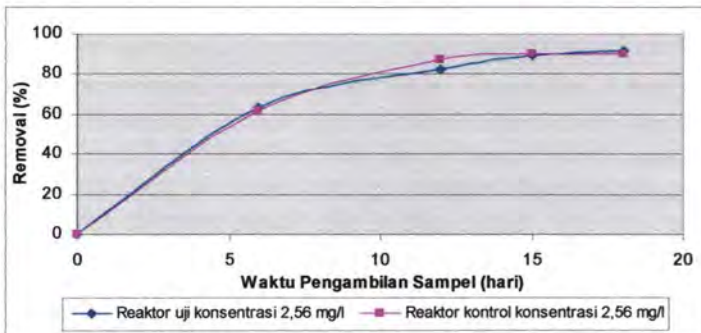
Gambar 4.13 menunjukkan bahwa penyisihan fenol pada konsentrasi limbah 6,41 mg/L tidak terjadi karena kemampuan dari eceng gondok saja. Bahkan peran eceng eceng gondok dalam penyisihan fenol sangat kecil. Hal ini terlihat dari perbedaan antara efisiensi pada reaktor uji dan reaktor kontrol yang hanya sebesar 0,16 %. Pada reaktor uji, eceng gondok tidak dapat mereduksi senyawa fenol secara langsung karena eceng gondok tidak dapat menyerap senyawa kompleks. Eceng gondok lebih berfungsi sebagai tempat pelekatan mikroorganisme yang akan menguraikan senyawa fenol dan menyerap sebagian ion hasil dari penguraian dari mikroba. Tetapi pada kenyataannya peran eceng gondok dalam menyerap ion hasil penguraian hanya sebesar 0,16

% dari total total efisiensi sebesar 94,54 %. Sedangkan penyisihan terbesar merupakan hasil dari proses penguraian mikroba dan proses evaporasi senyawa fenol yaitu sebesar 94,38 %.



Gambar 4.14 Grafik Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L

Dari Gambar 4.14 terlihat bahwa pada hari ke-6 perbedaan efisiensi yang terjadi antara reaktor uji dan reaktor kontrol pada konsentrasi limbah 4,27 mg/L sebesar 10,07 %. Kemudian setelah hari ke-6, efisiensi pada reaktor kontrol terus mengalami kenaikan bahkan sampai pada akhir penelitian perbedaan itu hanya sebesar 1,76 %.



Gambar 4.15 Grafik Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

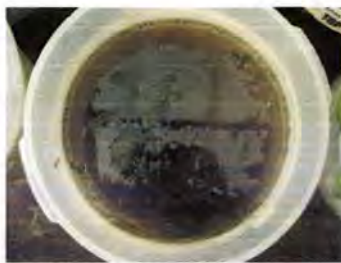
Pada konsentrasi limbah fenol 2,56 mg/L menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara efisiensi pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Perbedaan pada akhir penelitian hanya sebesar 1,57 %, bahkan pada hari ke-12 dan ke-15 efisiensi pada reaktor kontrol lebih besar daripada reaktor uji. Hal ini sekali lagi menunjukkan kecilnya peran eceng gondok dalam penyisihan fenol. Sedangkan pada reaktor kontrol, degradasi fenol tidak hanya dilakukan oleh bakteri tetapi juga dibantu oleh ganggang yang terdapat dalam reaktor. Keberadaan ganggang mengakibatkan oksigen dalam reaktor lebih banyak. Apabila suplai oksigen tinggi maka proses penguraian secara oksidasi berlangsung lebih cepat. Keadaan pada reaktor kontrol penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.16:



(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L



(c) Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.16 Reaktor Kontrol Penelitian Limbah *Phenolic Water*

4.3.2 Penurunan Nilai COD Pada Limbah *Phenolic Water*

Pada penelitian ini dilakukan analisis penurunan COD pada limbah *phenolic water* yang ada pada media tanam. Data penurunan COD untuk reaktor dengan eceng gondok maupun reaktor kontrol (tanpa eceng gondok) dapat dilihat pada Tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Penurunan COD

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	300,00	270,00	220,00	320,00	240,00	180,00
6	136,50	127,40	109,20	236,60	182,00	163,80
12	130,00	120,00	100,00	200,00	160,00	140,00
15	115,70	106,80	80,10	178,00	142,40	124,60
18	100,10	91,00	68,25	127,40	127,40	109,20
24	72,10	72,10	72,10	82,40	103,00	100,94
30	68,60	58,80	67,62	78,40	88,20	78,40

Keterangan:

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

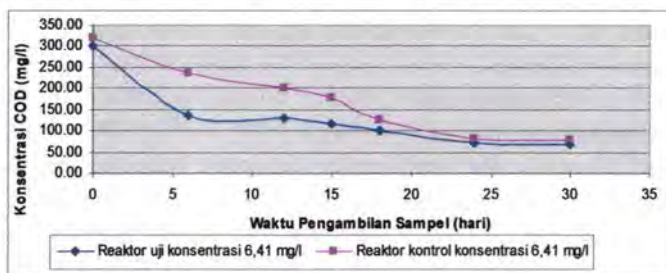
R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

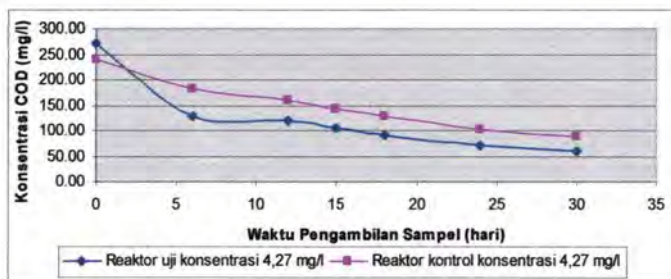
Nilai COD berasal dari bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah *phenolic water*. Nilai COD juga berasal dari zat-zat hasil metabolisme tanaman air dan mikroorganisme yang terdapat dalam reaktor. Mikroorganisme dalam reaktor terdapat pada akar tanaman dan tampak secara kasat mata melekat pada dinding sekeliling bak yang digunakan. Sekeliling dinding

dan dasar bak terasa licin karena adanya lapisan biofilm dari mikroorganisme (Suronegoro, 2006).

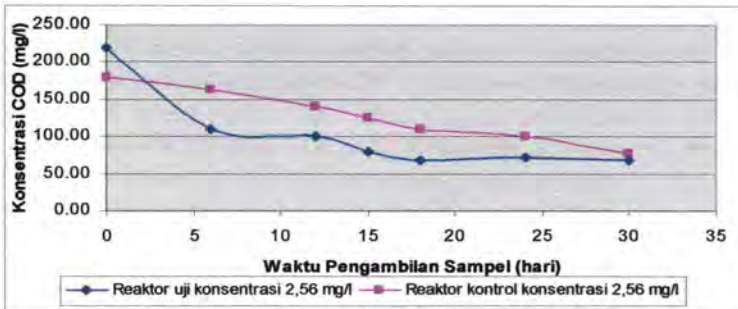
Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi limbah maka makin besar nilai COD-nya. Pada reaktor uji dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L nilai COD-nya sebesar 300 mg/L, sedangkan pada konsentrasi 2,56 mg/L nilai COD-nya sebesar 220 mg/L. Untuk reaktor kontrol dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L nilai COD-nya sebesar 320 mg/L, sedangkan pada konsentrasi 2,56 mg/L nilai COD-nya sebesar 180 mg/L. Hal ini dikarenakan dalam limbah *phenolic water* terdapat bahan-bahan organik. Sehingga semakin besar (pekat) konsentrasi limbah *phenolic water* maka semakin tinggi nilai COD-nya. Grafik hasil analisis penurunan COD limbah *phenolic water* pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.17 - 4.19 :



Gambar 4.17 Grafik Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.18 Grafik Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L



Gambar 4.19 Grafik Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada Gambar 4.17 – 4.19 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Pada konsentrasi 6,41 mg/L besar nilai COD pada reaktor uji sebesar 300 mg/L, sedangkan pada reaktor kontrol sebesar 320 mg/L. Untuk konsentrasi limbah 4,27 mg/L nilai COD pada reaktor uji sebesar 270 mg/L dan pada reaktor kontrol sebesar 240 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi limbah 2,56 mg/L nilai COD pada reaktor uji sebesar 220 mg/L dan pada reaktor kontrol sebesar 180 mg/L. Hal ini dimungkinkan karena adanya perbedaan kandungan bahan organik pada air pengencer yang digunakan. Air pengencer yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai tempat hidup eceng gondok. Walaupun air pengencer yang digunakan berasal dari tempat yang sama, tetapi ada kemungkinan terdapat perbedaan kandungan bahan organik di dalamnya.

Nilai COD terendah yang mampu dihasilkan setelah 30 hari terjadi pada reaktor uji konsentrasi 4,27 mg/L yaitu sebesar 58,80 mg/L. Sedangkan nilai COD tertinggi adalah pada reaktor kontrol konsentrasi 4,27 mg/L yaitu sebesar 88,2 mg/L COD.

Data prosentase penyisihan COD selama penelitian berlangsung disajikan dalam Tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water*

Hari	Penurunan Nilai COD (mg/L)					
	R1	R2	R3	R4	R51	R6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	54,50	52,81	50,36	26,06	24,17	9,00
12	56,67	55,56	54,55	37,50	33,33	22,22
15	61,43	60,44	63,59	44,38	40,67	30,78
18	66,63	66,30	68,98	60,19	46,92	39,33
24	75,97	73,30	67,23	74,25	57,08	43,92
30	77,13	78,22	69,26	75,50	63,25	56,44

Keterangan:

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

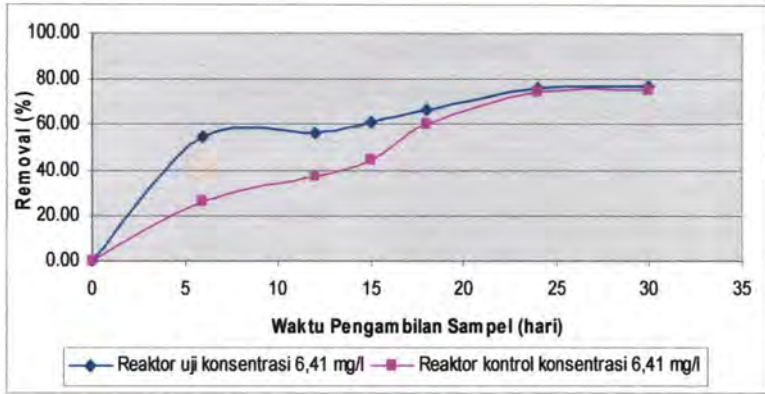
R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

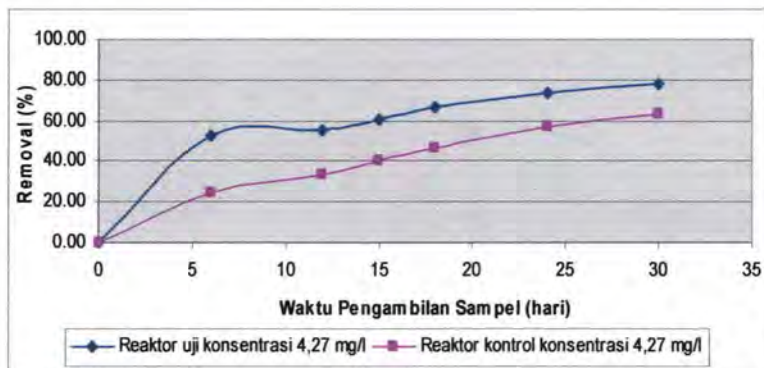
Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa efisiensi penurunan COD terbesar terjadi pada reaktor uji dengan konsentrasi 4,27 mg/L yaitu sebesar 78,22 %. Sedangkan efisiensi terkecil terjadi pada reaktor kontrol dengan konsentrasi 2,56 mg/L yaitu sebesar 56,44 %. Data pada Tabel 4.5 ditampilkan dalam bentuk grafik guna mempermudah dalam membandingkan efisiensi penurunan COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Grafik efisiensi penurunan COD limbah *phenolic water* pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.20 - 4.22 :





Gambar 4.20 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L

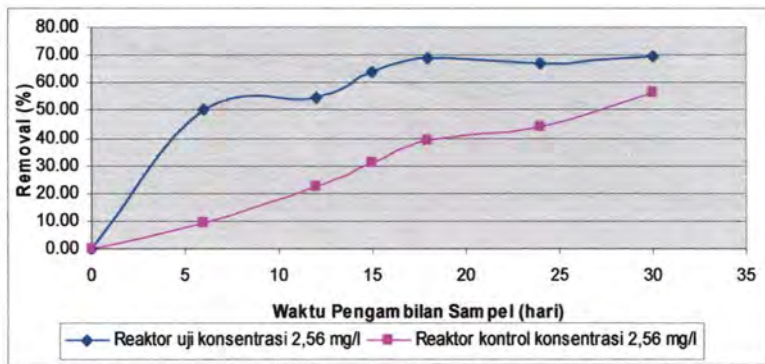
Dari Gambar 4.20 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai COD pada reaktor dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L. Pada reaktor uji efisiensi penurunan COD mencapai 77,13 %. Sedangkan pada reaktor kontrol efisiensi penurunan COD sebesar 75,50 %. Dari data tersebut diketahui bahwa penurunan COD dengan eceng gondok lebih besar daripada tanpa eceng gondok. Hal ini terjadi karena pada reaktor dengan eceng gondok terjadi proses penyerapan nutrisi maupun unsur hara (ion-ion hasil penguraian) oleh eceng gondok dan mikroorganisme. Sehingga terjadi penguraian bahan organik yang lebih cepat daripada reaktor kontrol tanpa eceng gondok. Penurunan COD pada reaktor kontrol disebabkan oleh penguraian dan penyerapan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme saja. Perbedaan penurunan yang terjadi antara reaktor uji dan reaktor kontrol sebesar 1,63 %.



Gambar 4.21 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L

Dari Gambar 4.21 menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 4,27 mg/L, efisiensi penurunan COD dengan eceng gondok lebih besar daripada tanpa eceng gondok. Perbedaan efisiensi yang terjadi sebesar 14,97 %. Hal ini membuktikan bahwa penyerapan oleh mikroorganisme dan eceng gondok lebih efektif dibandingkan bila penyerapan oleh mikroorganisme saja.

Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dibutuhkan adanya nutrisi dan oksigen terlarut yang cukup dalam media tanam. Proses metabolisme dilakukan dengan mengambil bahan organik dan oksigen terlarut dari air limbah maupun udara yang merupakan hasil proses fotosintesis eceng gondok. Bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme yang melekat pada akar tanaman dan melayang dalam air limbah, menjadi bentuk senyawa atau ion yang lebih mudah diserap oleh eceng gondok. Bentuk senyawa atau ion tersebut seperti CH_3COO^- , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , dan sebagainya (Suwariyanti, 2002). Jadi di dalam reaktor terjadi simbiosis mutualisme antara mikroorganisme dan eceng gondok. Sedangkan pada reaktor kontrol, mikroorganisme mendapat oksigen dari hasil proses difusi udara ke dalam air limbah (Suronegoro, 2006).



Gambar 4.22 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada konsentrasi limbah 2,56 mg/L menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi penurunan yang terjadi pada reaktor uji dan reaktor kontrol sebesar 12,82 %. Hal ini sekali lagi membuktikan bahwa penyerapan oleh mikroorganisme dan eceng gondok lebih efektif dibandingkan bila penyerapan oleh mikroorganisme saja.

Selama penelitian berlangsung, eceng gondok mampu hidup walaupun ada beberapa daunnya yang layu pada akhir penelitian. Keadaan reaktor uji dan reaktor kontrol pada akhir penelitian (hari Ke-30) dapat dilihat pada Gambar 4.23 – 4.26 :



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.23 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.24 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.25 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L



(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L



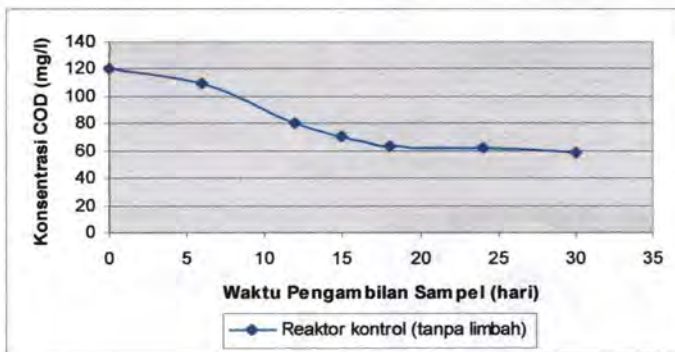
(c) Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.26 Reaktor Kontrol Limbah *Phenolic Water*

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran COD pada reaktor kontrol 2 (tanpa limbah *phenolic water*). Data penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.27:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol

Reaktor	Hari Pengamatan						
	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)
	0	6	12	15	18	24	30
Kontrol	120	109.2	80	71.2	63.7	61.8	58.8

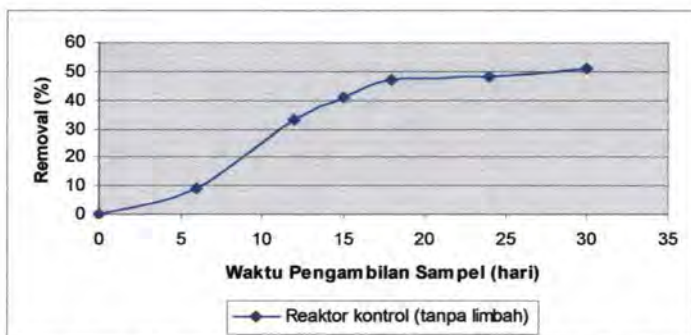


Gambar 4.27 Grafik Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah)

Pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.27 menunjukkan bahwa nilai COD yang didapat pada awal penelitian hanya sebesar 120 mg/L. Nilai COD ini jauh lebih kecil dibandingkan nilai COD dengan limbah *phenolic water*. Pada reaktor kontrol (tanpa limbah) terjadi penurunan nilai COD hingga 58,8 mg/L COD di akhir penelitian. Efisiensi penurunan nilai COD pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.28 :

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol

Reaktor	Hari Pengamatan						
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	0	6	12	15	18	24	30
Kontrol	0	9.00	33.33	40.67	46.92	48.50	51.00



Gambar 4.28 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah)

Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.28 terlihat bahwa efisiensi penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) tidak sebaik efisiensi penurunan COD pada reaktor dengan limbah *phenolic water*. Efisiensi penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) sebesar 51 % pada akhir pengamatan.

4.3.3 Pengukuran pH

Pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh nilai pH, dimana setiap jenis tanaman mempunyai karakteristik nilai pH tertentu untuk bertahan hidup pada habitatnya. Selama berlangsungnya proses penelitian, pH limbah *phenolic water* mengalami perubahan. Hasil analisis pH untuk limbah *phenolic water* dapat dilihat pada Tabel 4.9:

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Nilai pH

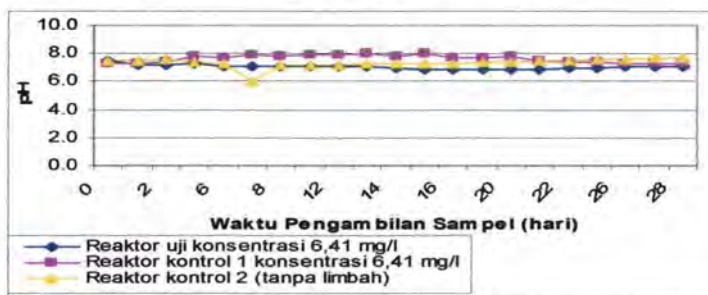
Hari ke	Nilai pH						
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R13
0	7,5	7,3	7,4	7,3	7,3	7,3	7,5
1	7,2	7,2	7,2	7,3	7,3	7,3	7,5
2	7,2	7,2	7,3	7,4	7,4	7,7	7,6
5	7,3	7,4	7,5	7,8	7,9	8,2	7,4
6	7,1	7,2	7,1	7,7	7,8	8,1	7,3
7	7,1	7,0	7,1	7,9	8,0	8,1	6,0
8	7,0	7,0	6,9	7,8	8,0	8,0	7,2
9	7,1	7,0	7,0	7,9	8,0	8,0	7,2
12	7,1	7,1	6,6	7,9	8,1	8,3	7,2
13	7,1	7,0	6,6	8,0	8,2	8,4	7,3
14	7,0	6,8	6,4	7,8	8,0	8,0	7,3
15	6,9	6,8	6,4	8,0	8,2	8,1	7,3
16	6,9	6,7	6,3	7,8	7,7	7,7	7,3
19	6,8	6,8	6,6	7,7	7,8	7,8	7,4
20	6,9	6,8	6,5	7,8	7,7	7,7	7,4
21	6,9	6,8	6,4	7,5	7,7	7,7	7,5
22	7,0	6,9	6,5	7,4	7,7	7,7	7,5
23	7,0	6,9	6,5	7,4	7,7	7,6	7,6
26	7,1	7,0	6,5	7,3	7,7	7,6	7,6
27	7,1	7,1	6,7	7,3	7,7	7,6	7,7
28	7,1	7,2	6,8	7,3	7,6	7,5	7,7

Keterangan :

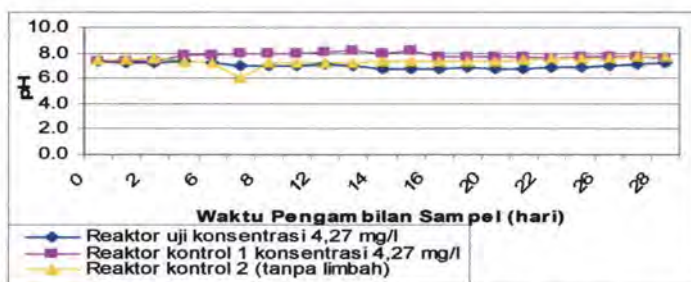
- R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
 R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
 R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L
 R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
 R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
 R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor kontrol dengan eceng gondok (tanpa limbah *phenolic water*)

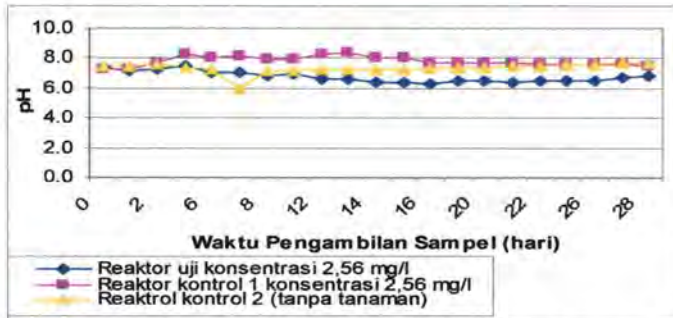
Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa nilai pH relatif tidak jauh berbeda pada tiap variasi konsentrasi. Pada reaktor uji, nilai pH relatif berfluktuasi naik dan turun tetapi mendekati akhir penelitian nilai pH cenderung naik. Pada reaktor kontrol (tanpa tanaman), nilai pH relatif mengalami kenaikan pada awal penelitian sedangkan pada akhir penelitian nilai pH relatif mengalami penurunan. Reaktor kontrol (tanpa limbah) nilai pH cenderung mengalami kenaikan sampai akhir penelitian, walaupun pada hari ke-5 sampai ke-7 nilai pH sempat turun. Grafik nilai pH limbah *phenolic water* pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.29 – 4.31 :



Gambar 4.29 Grafik Nilai pH pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.30 Grafik Nilai pH pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L



Gambar 4.31 Grafik Nilai pH pada Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.29 – 4.31 menunjukkan perubahan pH tidak hanya terjadi pada reaktor uji. Perubahan pH juga terjadi pada reaktor kontrol, baik reaktor kontrol tanpa tanaman maupun reaktor kontrol tanpa limbah. Pada konsentrasi 6,41 mg/L, tidak terjadi perbedaan nilai pH yang signifikan untuk reaktor uji dan reaktor kontrol. Nilai pH pada reaktor uji cenderung menurun pada pertengahan penelitian Sedangkan pada reaktor kontrol nilai pH cenderung naik. Pada akhir penelitian, nilai pH reaktor uji cenderung naik sedangkan pada reaktor kontrol cenderung turun. Pada konsentrasi fenol 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L, nilai pH pada reaktor uji juga cenderung mengalami penurunan pada pertengahan penelitian. Tetapi pada reaktor kontrol nilai pH cenderung naik. Pada akhir penelitian, nilai pH reaktor uji cenderung naik sedangkan pada reaktor kontrol cenderung turun.

Selama penelitian berlangsung memperlihatkan nilai pH pada reaktor dengan eceng gondok masih berada pada kisaran pH optimum untuk pertumbuhan eceng gondok yaitu antara 4,0 – 7,5 (*Mangkoediharjo, 2002*). Pada reaktor uji nilai pH terendah terjadi pada R3 pengamatan hari ke-16 yaitu sebesar 6,3. Sedangkan nilai pH tertinggi terjadi pada awal penelitian yaitu pada R1 pengamatan hari ke-0 dan R3 hari ke-5 yaitu sebesar 7,5.

Pada reaktor kontrol nilai pH tertinggi terjadi pada R6 pengamatan hari ke-13 yaitu sebesar 8,4.

Selama penelitian, pH media tanam reaktor uji cenderung mengalami fluktuasi naik dan turun. Penurunan nilai pH disebabkan karena adanya proses penguraian fenol menjadi asam asetat (CH_3COOH). Asam asetat akan digunakan dalam proses respirasi (pembongkaran) yang menghasilkan CO_2 . Gas CO_2 yang terbentuk akan larut dalam larutan dan ada kemungkinan untuk meninggalkan larutan secara difusi. Adanya gas CO_2 dalam larutan ini dapat menyebabkan pH turun menjadi lebih asam. Sedangkan kenaikan nilai pH akibat adanya peningkatan penggunaan CO_2 oleh eceng gondok dalam proses fotosintesis. Pada proses fotosintesis CO_2 diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari cahaya matahari sedangkan hidrogen (H^+) diperoleh dari media tanam dan dari udara. Pengambilan ion H^+ dari media tanam tersebut akan menaikkan pH (Sawyer, 1994). Selain itu eceng gondok sendiri tergolong tumbuhan yang cenderung menaikkan pH, jumlah penyerapan proton yang dilakukan eceng gondok relatif melebihi hasil proton proses mikrobial (*Mangkoediharjo, 2002*).

Pada reaktor kontrol (tanpa tanaman) nilai pH juga cenderung berfluktuatif walaupun pH cenderung turun pada akhir penelitian. Perubahan nilai pH pada media ini dapat disebabkan karena adanya gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang terdapat pada media (Dwidjoseputro, 1980). Gas-gas yang timbul sebagai hasil pembongkaran (respirasi, fermentasi) oleh mikroorganisme berupa karbondioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2). Gas CO_2 yang terbentuk dapat menyebabkan pH turun menjadi lebih asam. Sedangkan hidrogen (H_2) yang timbul bersamaan dengan gas CO_2 dapat teroksidasi menjadi OH^- yang dapat menaikkan pH.

Reaktor kontrol dengan eceng gondok (tanpa limbah) nilai pH cenderung naik yang terjadi karena peningkatan penggunaan CO_2 dalam proses fotosintesis. Pada proses

fotosintesis CO_2 diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari cahaya matahari sedangkan hidrogen (H^+) diperoleh dari media tanam dan dari udara. Pengambilan ion H^+ dari media tanam tersebut akan menaikkan pH (Sawyer, 1994).

4.3.4 Pengukuran Suhu

Suhu air limbah mempengaruhi aktifitas mikroorganisme dalam proses pengolahan air limbah sehingga akan mempengaruhi kualitas yang dihasilkan secara tidak langsung (Wood, 1990). Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pengukuran suhu media tanam. Data mengenai pengukuran nilai suhu yang terjadi selama penelitian berlangsung ditampilkan pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.32 berikut :

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Suhu

Hari ke	Suhu						
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R13
0	28,7	28,7	28,6	28,5	28,6	28,5	28,6
1	28,5	28,4	28,5	28,4	28,4	28,4	28,4
2	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
5	28,6	28,5	28,4	28,5	28,5	28,4	28,5
6	28,0	28,1	28,0	27,8	27,8	27,8	28,0
7	28,0	28,0	28,0	28,2	28,2	28,2	28,3
8	28,6	28,6	28,6	28,5	28,5	28,5	28,5
9	28,1	28,0	28,0	27,9	27,9	27,9	28,0
12	28,7	28,7	28,6	28,1	28,0	28,2	28,4
13	29,2	29,3	29,1	29,0	28,9	29,0	29,3
14	28,6	28,6	28,6	28,4	28,4	28,4	28,5
15	29,4	29,4	29,3	29,1	29,0	29,1	29,4
16	29,2	29,1	29,1	28,8	29,0	29,1	29,2

Lanjutan Tabel 4.10

19	29,3	29,2	29,2	29,0	28,9	29,1	29,0
20	28,8	28,9	28,7	28,5	28,2	28,3	29,0
21	30,1	30,2	30,2	29,8	29,9	29,8	30,0
22	29,7	29,7	29,7	29,4	29,3	29,5	29,8
23	29,3	29,5	29,4	29,3	29,2	29,3	29,5
26	29,8	29,8	29,8	29,3	29,2	29,0	29,8
27	29,1	29,2	29,2	29,1	29,0	29,1	29,1
28	29,4	29,5	29,7	29,0	29,1	29,3	29,4

Keterangan :

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

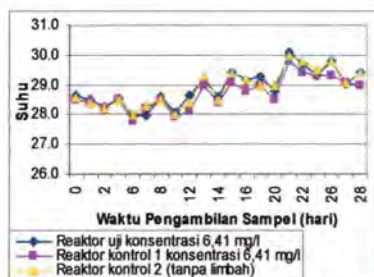
R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

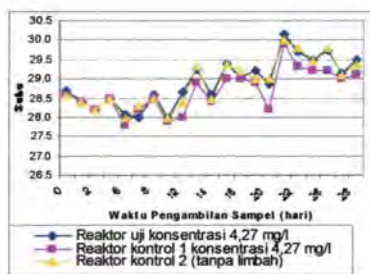
R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor kontrol dengan eceng gondok (tanpa limbah *phenolic water*)

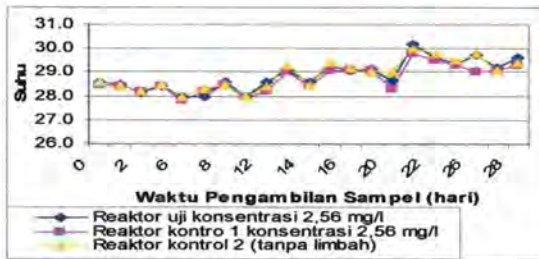


(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L

Gambar 4.32 Grafik Pengukuran Suhu Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b)



Gambar 4.33 Grafik Pengukuran Suhu Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.32 – 4.33 menunjukkan perubahan suhu tidak hanya terjadi pada reaktor uji. Perubahan suhu juga terjadi pada reaktor kontrol, baik reaktor kontrol tanpa tanaman maupun reaktor kontrol tanpa limbah. Pada konsentrasi 6,41 mg/L, tidak terjadi perbedaan nilai suhu yang signifikan untuk reaktor uji dan reaktor kontrol. Naik turunnya suhu pada reaktor uji dan reaktor kontrol cenderung bersamaan setiap harinya. Hal ini juga terjadi pada konsentrasi fenol 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L. Walaupun demikian, selama penelitian berlangsung nilai suhu media tanam reaktor uji berkisar antara 28,0 °C sampai dengan 30,2 °C. Suhu tersebut masih dalam kisaran suhu optimum yang diperlukan eceng gondok agar dapat tumbuh dengan baik yaitu antara 28 °C - 32 °C (Mangkoediharjo, 2002).

4.4 LIMBAH FENOL BUATAN DENGAN MEMANFAATKAN ECENG GONDOK

4.4.1 Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Perubahan konsentrasi fenol pada penelitian ini diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang optimum 500 nm. Penelitian ini berlangsung selama 18 hari, dimana konsentrasi fenol yang ada pada limbah fenol buatan telah sesuai dengan baku mutu yang diizinkan. Data penurunan

konsentrasi fenol pada reaktor uji dan reaktor kontrol (tanpa tumbuhan uji) selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.11:

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Limbah Fenol Buatan (mg/L)					
	R7	R8	R9	R10	R11	R12
0	6,41	4,27	2,56	6,41	4,27	2,56
6	0,31	0,35	0,47	0,30	0,39	0,32
12	0,21	0,26	0,30	0,11	0,09	0,09
15	0,18	0,24	0,27	0,06	0,05	0,03
18	0,15	0,21	0,23	0,06	0,05	0,05

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa penurunan fenol terjadi pada reaktor uji dan juga pada reaktor kontrol (tanpa eceng gondok). Bahkan penurunan pada reaktor kontrol cenderung lebih besar daripada reaktor uji. Hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya proses evaporasi senyawa fenol pada reaktor kontrol. Proses evaporasi berperan sangat penting dalam penurunan fenol dalam limbah. Hal ini telah dibuktikan dengan percobaan limbah fenol buatan yang diaplikasikan pada air aquadest. Pada percobaan ini digunakan limbah fenol buatan dengan konsentrasi 6,41 mg/L. Hasil penelitian penurunan limbah fenol buatan dari proses evaporasi dapat dilihat pada Tabel 4.12 :

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Penurunan Fenol Hasil Proses Evaporasi

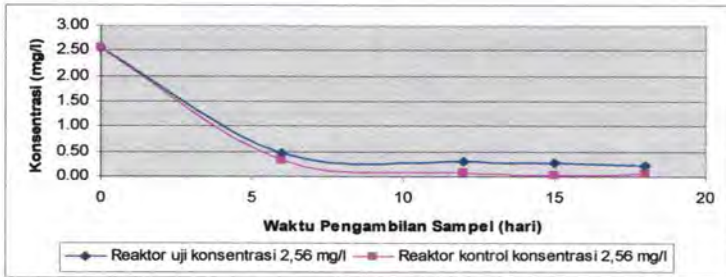
Hari ke	Konsentrasi (mg/L)
0	6,41
2	5,21
4	3,28
6	1,66

Dari Tabel 4.12 terlihat bahwa setelah hari ke-6 didapat konsentrasi limbah fenol buatan sebesar 1,66 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penurunan fenol sebesar 4,75 mg/L merupakan hasil proses secara fisik (evaporasi). Sedangkan pada reaktor uji, proses evaporasi terhalang oleh adanya eceng gondok. Sehingga memungkinkan penurunan fenol pada reaktor kontrol lebih tinggi daripada reaktor uji. Grafik penurunan fenol hasil proses evaporasi dapat dilihat pada Gambar 4.34 :



Gambar 4.34 Grafik Penurunan Fenol Hasil Proses Evaporasi Konsentrasi 6,41 mg/L

Penurunan fenol terbesar pada semua reaktor terjadi pada hari ke-6 dimana sampling pertama kali dilakukan. Reaktor kontrol dengan konsentrasi 6,41 mg/L mengalami penurunan konsentrasi fenol terbesar menjadi 0,30 mg/L sedangkan reaktor



Gambar 4.37 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.35 – 4.37 menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi fenol terbesar terjadi pada awal penelitian. Penurunan konsentrasi fenol tersebut cenderung menurun sampai akhir penelitian. Hal ini sesuai dengan pendapat Judaningsih (1988) yang menyebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi penyerapan unsur hara salah satunya adalah kegiatan metabolik jaringan. sel-sel yang masih aktif, masih muda atau yang sedang tumbuh mempunyai kemampuan yang besar untuk menyerap unsur hara. Pada eceng gondok sendiri penyerapan unsur hara dilakukan pada saat proses fotosintesis, dimana dalam hal ini yang berperan adalah klorofil dalam daun (Sunarmi, 1990). Selama penelitian berlangsung eceng gondok tidak mengalami klorosis. Hal ini ditandai dengan kondisi eceng gondok yang masih hijau hingga akhir penelitian. Kondisi ini berbeda dengan eceng gondok pada media tanam dengan limbah *phenolic water*. Reaktor penelitian limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.38 – 4.40 :



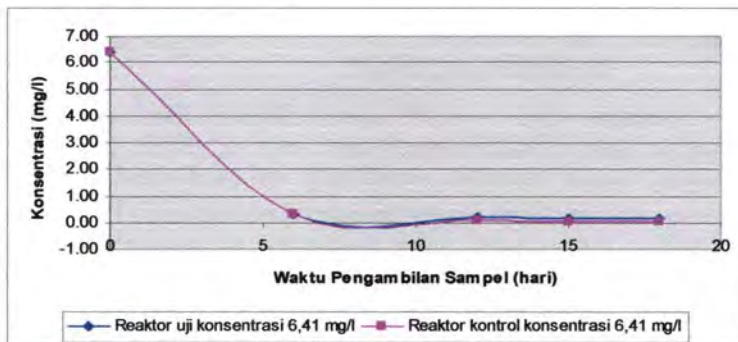
(a) Reaktor uji 1



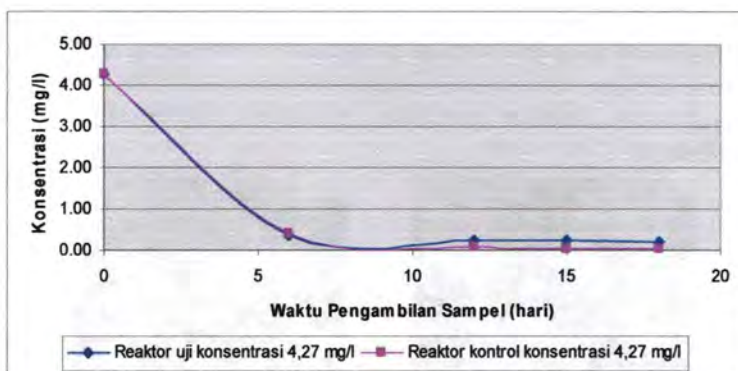
(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.38 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L

uji dengan konsentrasi 6,41 mg/L mengalami penurunan menjadi 0,31. Pada pengamatan selanjutnya penurunan konsentrasi fenol berjalan lambat sampai akhir penelitian. Pada reaktor uji penurunan fenol pada hari ke-18 rata-rata hanya sebesar 0,95 %. Sedangkan pada reaktor kontrol sudah tidak mengalami penurunan. Grafik hasil penurunan fenol dari limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.35 – 4.37 :



Gambar 4.35 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.36 Grafik Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.39 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan
Konsentrasi 4,27 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.40 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan
Konsentrasi 2,56 mg/L

Berikut adalah tabel efisiensi penurunan fenol pada limbah fenol buatan:

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Penyisihan Limbah Fenol Buatan (mg/L)					
	R7	R8	R9	R10	R11	R12
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	95,24	91,80	81,84	95,32	90,87	87,50
12	96,72	94,03	88,28	98,28	97,89	96,48
15	97,27	94,38	89,65	99,06	98,83	98,83
18	97,74	95,20	91,21	99,06	98,83	98,05

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

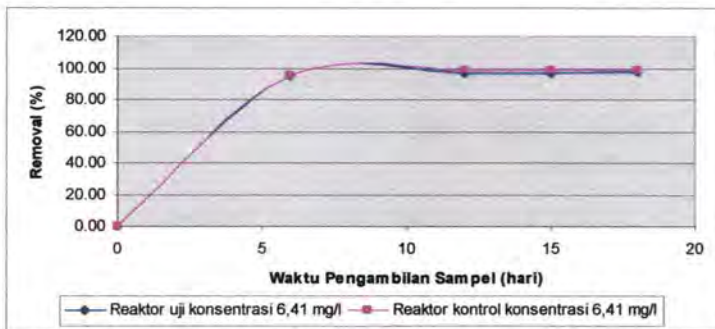
R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah Fenol Buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Pada reaktor uji efisiensi penurunan konsentrasi fenol terbesar terjadi pada konsentrasi 6,41 mg/L yaitu sebesar 97,74 %. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi konsentrasi maka laju penyerapan semakin tinggi pula. Sedangkan pada reaktor kontrol efisiensi terbesar juga terjadi pada reaktor dengan konsentrasi 6,41 mg/ yaitu sebesar 99,06 %. Grafik efisiensi penurunan fenol dari limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.41 – 4.44 :

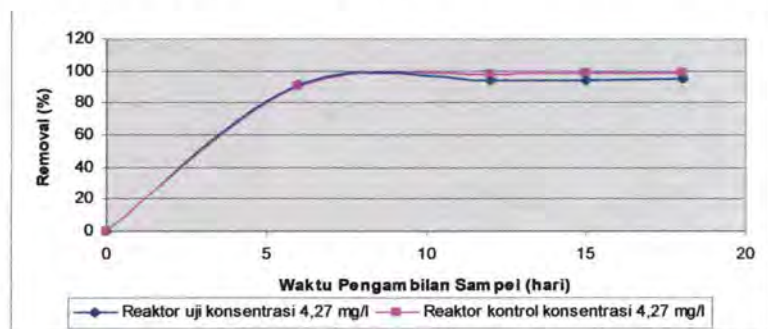


Gambar 4.41 Grafik Efisiensi Penyisihan fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L

Dari Gambar 4.41 terlihat bahwa penyisihan fenol pada reaktor kontrol (tanpa eceng gondok) lebih besar daripada reaktor uji dengan eceng gondok. Perbedaan efisiensi pada reaktor uji dan

dengan literatur yang menyatakan bahwa potensi perkembangan gulma air (untuk ganggang) dipengaruhi antara lain oleh:

- Sifat gulma air, dimana dalam melakukan fotosintesis intensitas cahaya sangat berpengaruh. Ini terbukti pada reaktor uji dengan eceng gondok, ganggang yang ditemukan lebih sedikit daripada reaktor kontrol (tanpa eceng gondok) karena intensitas cahaya yang masuk berkurang.
- Keanekaragaman gulma air. Ini terbukti pada reaktor uji dengan eceng gondok, ganggang yang ditemukan lebih sedikit daripada reaktor kontrol (tanpa eceng gondok). Hal ini disebabkan karena adanya daya saing (kompetisi).
- Keadaan lingkungan. Ini terbukti bahwa semakin tinggi konsentrasi maka ganggang yang ditemukan semakin berkurang (Moenandir, 1990).



Gambar 4.43 Grafik Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L

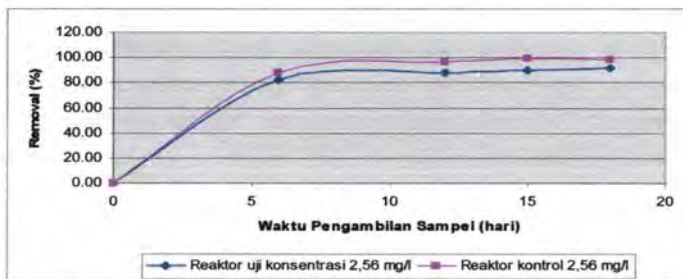
Dari Gambar 4.43 dapat dilihat bahwa penyisihan pada reaktor kontrol lebih besar daripada reaktor uji. Perbedaan efisiensi yang terjadi antara reaktor kontrol dan reaktor uji pada konsentrasi limbah 4,27 mg/L sebesar 3,63 %. Pada hari ke-18 konsentrasi fenol pada reaktor kontrol sudah tidak mengalami penurunan lagi. Sedangkan pada reaktor uji masih mengalami penurunan sebesar 0,82 % dari pengamatan sebelumnya (hari ke-15).

reaktor kontrol tersebut sebesar 1,32. Hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya proses evaporasi senyawa fenol pada reaktor kontrol. Proses evaporasi berperan sangat penting dalam penurunan fenol dalam limbah. Hal ini telah dibuktikan dengan percobaan limbah fenol buatan yang diaplikasikan pada air aquadest. Pada percobaan ini digunakan limbah fenol buatan dengan konsentrasi 6,41 mg/L. Setelah hari ke-6 didapat efisiensi penyisihan limbah fenol buatan sebesar 74,18 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan proses secara fisik (evaporasi) berperan sangat penting dalam penurunan fenol. Sedangkan pada reaktor uji, proses evaporasi terhalang oleh adanya eceng gondok. Sehingga memungkinkan penurunan fenol pada reaktor kontrol lebih tinggi daripada reaktor uji. Grafik efisiensi penyisihan fenol hasil proses evaporasi dapat dilihat pada Gambar 4.42 :



Gambar 4.42 Grafik Efisiensi Penyisihan fenol Hasil Proses Evaporasi Konsentrasi 6,41 mg/L

Selain itu penyisihan fenol pada reaktor kontrol juga dibantu oleh ganggang yang ada pada reaktif kontrol. Pada saat penelitian berlangsung, dilakukan juga pengamatan pada jumlah ganggang yang ada pada reaktor. Ternyata pada reaktor kontrol jumlah ganggang lebih banyak daripada reaktor uji dengan eceng gondok. Selain itu semakin tinggi konsentrasi fenol, ganggang yang ditemukan semakin berkurang jumlahnya. Hal ini sesuai



Gambar 4.44 Grafik Efisiensi Penyisihan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada konsentrasi limbah fenol 2,56 mg/L juga menunjukkan bahwa penyisihan pada reaktor kontrol lebih besar daripada reaktor uji. Perbedaan pada akhir penelitian sebesar 6,84 %, bahkan penyisihan pada reaktor kontrol lebih besar daripada reaktor uji sejak sampling pertama kali dilakukan. Hal ini menunjukkan kecilnya peran eceng gondok dalam penyisihan fenol pada limbah fenol buatan. Sedangkan penurunan yang terjadi pada reaktor kontrol tidak hanya dilakukan oleh bakteri dan proses evaporasi, tetapi juga dibantu oleh ganggang yang terdapat dalam reaktor. Adanya ganggang pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.45 :



(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L



(c) Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.45 Reaktor Kontrol Penelitian Limbah Fenol Buatan

4.4.2 Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan

Pada penelitian ini dilakukan analisis penurunan COD pada limbah fenol buatan yang ada pada media tanam. Data penurunan COD untuk reaktor uji dan reaktor kontrol (tanpa tumbuhan uji) dapat dilihat pada Tabel 4.14:

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Penurunan COD

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	R7	R8	R9	R10	R11	R12
0	170,00	150,00	130,00	180,00	160,00	140,00
6	100,10	100,10	91,00	127,40	127,40	91,00
12	90,00	80,00	75,00	100,00	80,00	80,00
15	71,20	62,30	62,30	89,00	71,20	66,75
18	62,79	53,69	50,05	72,80	63,70	59,15
24	50,47	30,90	40,17	51,50	51,50	41,20
30	29,40	29,40	34,30	39,20	39,20	39,20

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

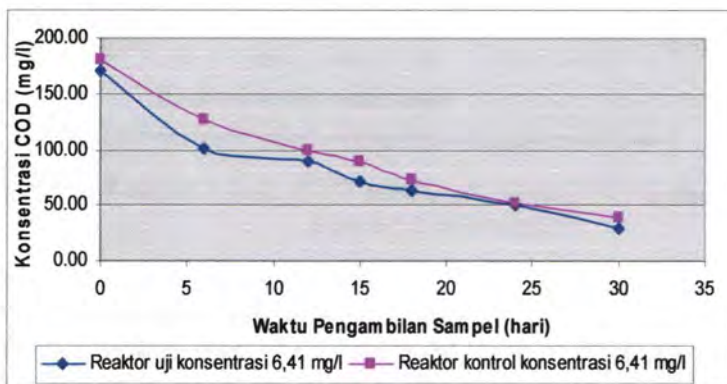
R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

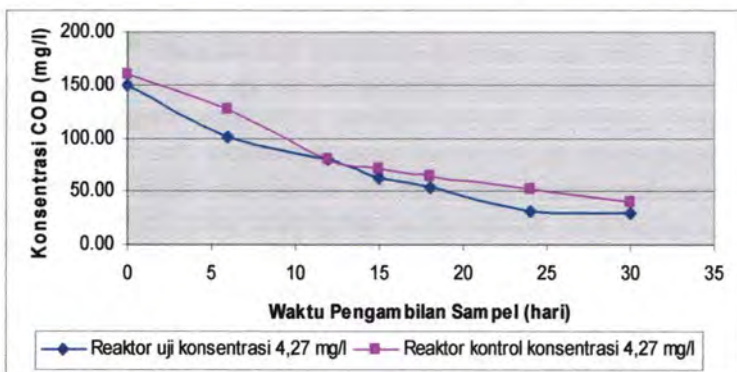
R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah Fenol Buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Dari Tabel 4.14 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi limbah maka makin besar nilai COD-nya. Pada reaktor uji dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L nilai COD-nya sebesar 170 mg/L, sedangkan pada konsentrasi 2,56 mg/L nilai COD-nya sebesar 130 mg/L. Untuk reaktor kontrol dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L nilai COD-nya sebesar 180 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi 2,56 mg/L nilai COD-nya sebesar 140 mg/L. Hal ini

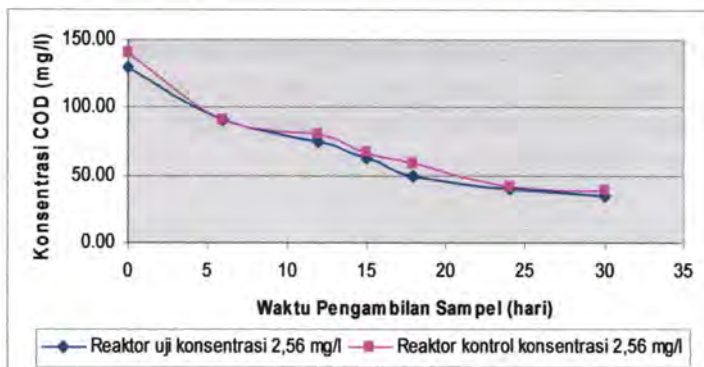
dikarenakan dalam limbah fenol buatan terdapat bahan-bahan organik. Sehingga semakin besar (pekat) konsentrasi limbah fenol buatan maka semakin tinggi nilai COD-nya. Grafik hasil penurunan COD limbah fenol buatan dapat dilihat pada Gambar 4.46 – 4.48:



Gambar 4.46 Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.47 Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L



Gambar 4.48 Grafik Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Gambar 4.46 – 4.48 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai COD pada reaktor uji dan reaktor kontrol. Pada konsentrasi 6,41 mg/L besar nilai COD pada reaktor uji sebesar 170 mg/L, sedangkan pada reaktor kontrol sebesar 180 mg/L. Untuk konsentrasi limbah 4,27 mg/L nilai COD pada reaktor uji sebesar 150 mg/L dan pada reaktor kontrol sebesar 160 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi limbah 2,56 mg/L nilai COD pada reaktor uji sebesar 130 mg/L dan pada reaktor kontrol sebesar 140 mg/L. Dari data tersebut diketahui bahwa pada reaktor kontrol nilai COD lebih tinggi daripada reaktor uji. Hal ini dimungkinkan dapat terjadinya karena adanya perbedaan kandungan bahan organik pada air pengencer yang digunakan. Air pengencer yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai tempat hidup eceng gondok. Walaupun air pengencer yang digunakan berasal dari tempat yang sama, tetapi ada kemungkinan terdapat perbedaan kandungan bahan organik di dalamnya.

Nilai COD terendah yang mampu dihasilkan setelah 30 hari adalah 29,40 mg/L COD. Sedangkan nilai COD tertinggi terjadi pada reaktor kontrol yaitu sebesar 39,20 mg/L COD. Data prosentase penurunan COD selama penelitian berlangsung disajikan dalam Tabel 4.15 :

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Penurunan Nilai COD (mg/L)					
	R7	R8	R9	R10	R11	R12
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	41,12	33,27	30,00	29,22	20,38	35,00
12	47,06	46,67	42,31	44,44	50,00	42,86
15	58,12	58,47	52,08	50,56	55,50	52,32
18	63,06	64,21	61,50	59,56	60,19	57,75
24	70,31	79,40	69,10	71,39	67,81	70,57
30	82,71	80,40	73,62	78,22	75,50	72,00

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

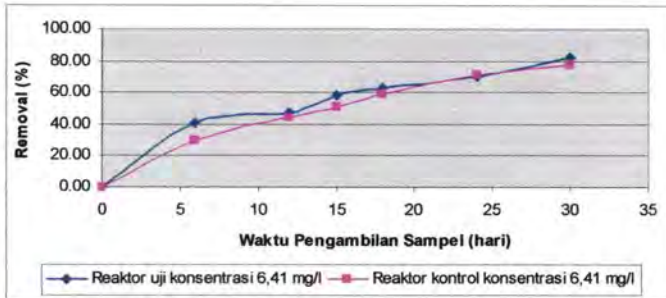
R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah Fenol Buatan konsentrasi 2,56 mg/L

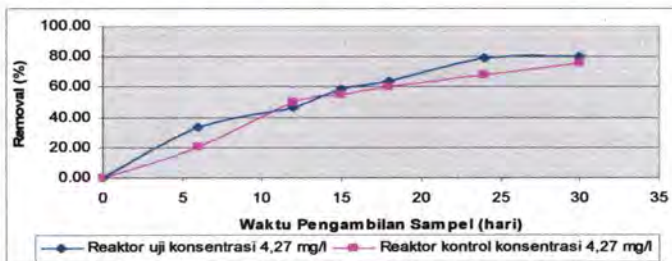
Dari Tabel 4.15 terlihat bahwa penurunan COD terbesar terjadi pada reaktor uji dengan konsentrasi 6,41 mg/L yaitu sebesar 82,71 %. Sedangkan penurunan COD terkecil terjadi pada reaktor kontrol dengan konsentrasi 2,56 mg/L yaitu sebesar 72,00 %. Efisiensi penurunan nilai COD pada fenol buatan lebih baik daripada limbah *phenolic water*. Hal ini dapat terjadi karena kandungan bahan organik dalam fenol buatan lebih mudah didegradasi daripada dalam *phenolic water*. Grafik hasil penurunan COD limbah fenol buatan pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.49 - 4.51 :





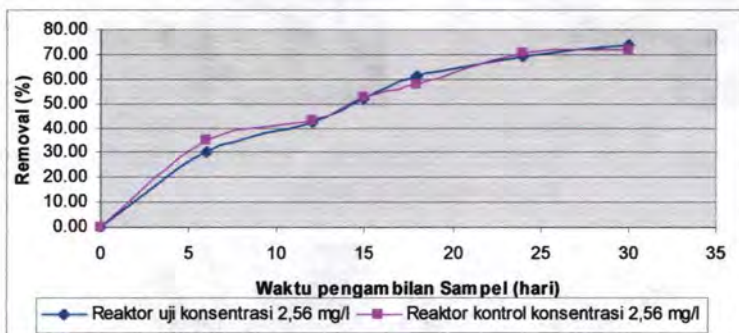
Gambar 4.49 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L

Dari Gambar 4.49 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai COD pada reaktor dengan konsentrasi limbah 6,41 mg/L. Pada reaktor uji efisiensi penurunan COD mencapai 82,71 %. Sedangkan pada reaktor kontrol efisiensi penurunan COD sebesar 78,22 %. Dari data tersebut diketahui bahwa penurunan COD dengan eceng gondok lebih besar daripada tanpa eceng gondok. Hal ini terjadi karena pada reaktor dengan eceng gondok terjadi proses penyerapan nutrisi maupun unsur hara (ion-ion hasil penguraian) oleh eceng gondok dan mikroorganisme. Sehingga terjadi penguraian bahan organik yang lebih cepat daripada pada reaktor kontrol tanpa eceng gondok. Penurunan COD pada reaktor kontrol disebabkan oleh penguraian dan penyerapan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme saja. Perbedaan penurunan yang terjadi antara reaktor uji dan reaktor kontrol sebesar 4,49 %.



Gambar 4.50 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L

Dari Gambar 4.48 menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 4,27 mg/L, efisiensi penurunan COD dengan eceng gondok lebih besar daripada tanpa eceng gondok. Perbedaan efisiensi yang terjadi hanya sebesar 4,9 %.



Gambar 4.51 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada konsentrasi limbah 2,56 mg/L menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi penurunan yang terjadi sebesar 1,62 %. Selama penelitian berlangsung, eceng gondok masih mampu hidup dengan kondisi tetap segar walaupun ada beberapa daunnya yang layu pada akhir penelitian. Keadaan reaktor uji dan reaktor kontrol pada akhir penelitian (hari ke-30) dapat dilihat pada Gambar 4.52 – 4.56 :



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.52 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.53 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L



(a) Reaktor uji 1



(b) Reaktor uji 2

Gambar 4.54 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L



(a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L

Gambar 4.55 Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b)

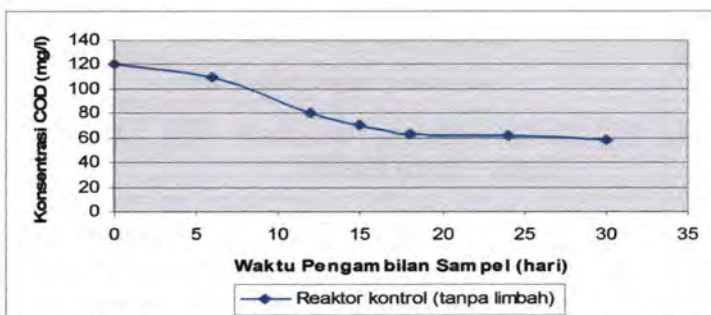


Gambar 4.56 Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran COD pada reaktor kontrol 2 (tanpa limbah fenol buatan). Data penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.57 :

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol

Reaktor	Hari Pengamatan						
	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)
	0	6	12	15	18	24	30
Kontrol	120	109.2	80	71.2	63.7	61.8	58.8

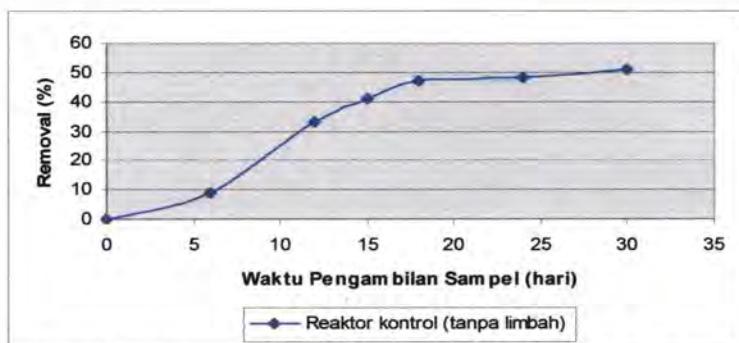


Gambar 4.57 Grafik Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah)

Pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.54 menunjukkan bahwa nilai COD yang didapat pada awal penelitian hanya sebesar 120 mg/L. Nilai COD ini lebih kecil dari nilai COD dengan limbah fenol buatan. Pada reaktor kontrol (tanpa limbah) terjadi penurunan nilai COD hingga 58,8 mg/L COD pada akhir penelitian. Efisiensi penurunan nilai COD pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.58 :

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol

Reaktor	Hari Pengamatan						
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	0	6	12	15	18	24	30
Kontrol	0	9.00	33.33	40.67	46.92	48.50	51.00



Gambar 4.58 Grafik Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Kontrol (tanpa limbah)

Pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.58 terlihat bahwa efisiensi penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) tidak sebaik efisiensi penurunan COD pada reaktor dengan limbah fenol buatan. Efisiensi penurunan COD pada reaktor kontrol (tanpa limbah) sebesar 51 % pada akhir pengamatan.

4.4.3 Pengukuran pH

Selama berlangsungnya proses penelitian, pH limbah fenol buatan mengalami perubahan. Hasil analisa pH untuk air limbah fenol buatan dapat dilihat pada Tabel 4.18 :

Tabel 4.18 Hasil Pengukuran Nilai pH

Hari ke	Nilai pH						
	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
0	7,3	7,3	7,3	7,3	7,2	7,3	7,5
1	7,2	7,2	7,3	7,4	7,3	7,5	7,5
2	7,3	7,3	7,5	7,8	7,8	7,9	7,6
5	7,2	7,2	7,0	8,1	8,0	8,1	7,4
6	6,8	6,7	6,4	7,9	7,9	7,9	7,3
7	6,7	6,5	6,2	8,0	7,9	7,9	6,0
8	6,6	6,1	5,8	7,8	7,8	7,8	7,2
9	6,3	6,1	5,7	7,8	7,8	7,8	7,2
12	6,0	5,9	5,9	7,8	7,8	7,8	7,2
13	6,1	6,0	5,9	7,8	7,8	7,8	7,3
14	5,7	5,7	5,6	7,5	7,6	7,5	7,3
15	5,7	5,7	5,8	7,5	7,8	7,6	7,3
16	5,8	5,8	6,0	7,4	7,5	7,4	7,3
19	6,3	5,8	6,1	7,4	7,5	7,5	7,4
20	6,3	5,9	6,1	7,3	7,5	7,3	7,4
21	6,4	5,9	6,0	7,3	7,5	7,2	7,5
22	6,3	5,8	6,0	7,3	7,5	7,2	7,5
23	6,4	5,9	6,0	7,3	7,4	7,2	7,6
26	6,4	6,0	6,1	7,3	7,4	7,1	7,6
27	6,4	6,0	6,1	7,2	7,3	7,1	7,7
28	6,4	6,0	6,1	7,1	7,2	7,0	7,7

Keterangan :

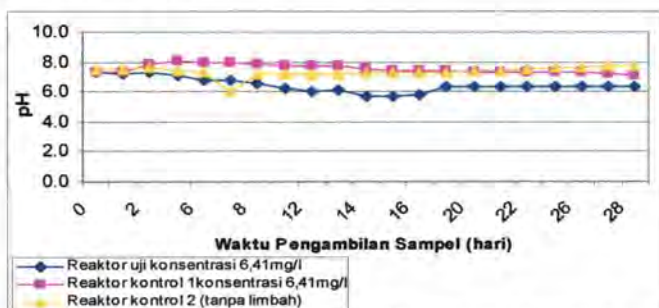
R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

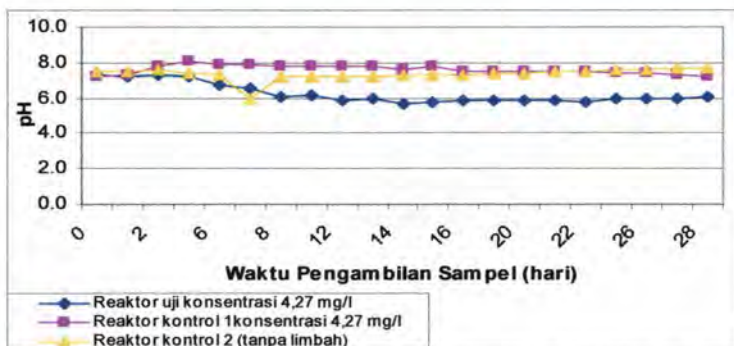
R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

- R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R13 : Reaktor kontrol dengan tanaman (tanpa limbah fenol buatan)

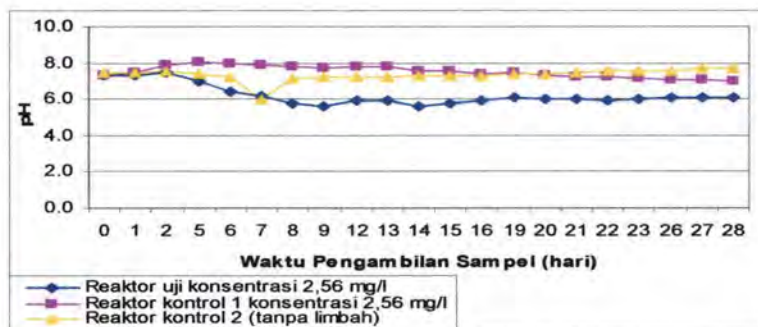
Dari Tabel 4.18 terlihat bahwa pada pengukuran hari ke-0 ditemukan nilai pH yang sama pada reaktor uji dengan konsentrasi 6,41 mg/L ; 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L dan reaktor kontrol pada konsentrasi 6,41 mg/L dan 4,27 mg/L yaitu sebesar 7,3. Pada reaktor uji nilai pH relatif turun pada hari ke-5 sampai hari ke-9 tetapi pada pengamatan selanjutnya nilai pH relatif berfluktuasi naik dan turun. Sedangkan pada akhir pengamatan nilai pH relatif naik daripada hari sebelumnya. Pada reaktor kontrol (tanpa tanaman) nilai pH relatif berfluktuasi naik dan turun. Walaupun demikian, perubahan pH yang terjadi tidak terlalu signifikan. Pada reaktor kontrol dengan tanaman (tanpa limbah fenol buatan) pH relatif mengalami kenaikan walaupun kenaikannya berlangsung lambat. Grafik nilai pH limbah fenol buatan pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.59 – 4.61 :



Gambar 4.59 Grafik Nilai pH Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L



Gambar 4.60 Grafik Nilai pH Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L



Gambar 4.61 Grafik Nilai pH Pada Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Dari Gambar 4.59 – 4.61 terlihat bahwa pada konsentrasi 6,41 mg/L, tidak terjadi perbedaan nilai pH yang signifikan untuk reaktor uji dan reaktor kontrol. Nilai pH pada reaktor uji cenderung menurun pada pertengahan penelitian. Sedangkan pada reaktor kontrol nilai pH cenderung naik. Pada akhir penelitian, nilai pH reaktor uji cenderung naik sedangkan pada reaktor kontrol cenderung turun. Kondisi yang sama juga terjadi pada limbah dengan konsentrasi fenol 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L.

Perubahan nilai pH yang terjadi pada media tanam masih berada pada kisaran pH optimum untuk pertumbuhan eceng gondok yaitu antara 4,0 – 7,5 (*Mangkoediharjo, 2002*). Nilai pH terendah terjadi pada reaktor uji R9 pengamatan hari ke-14 yaitu sebesar 5,6. Sedangkan nilai pH tertinggi terjadi pada reaktor kontrol R10 dan R12 pengamatan hari ke-5 yaitu sebesar 8,1.

Penurunan nilai pH dimungkinkan dapat terjadi karena adanya proses penguraian fenol menjadi asam asetat (CH_3COOH). Asam asetat akan digunakan dalam proses respirasi (pembongkaran) yang menghasilkan CO_2 . Gas CO_2 yang terbentuk akan larut dalam larutan dan ada kemungkinan untuk meninggalkan larutan secara difusi. Adanya gas CO_2 dalam larutan ini dapat menyebabkan pH turun menjadi lebih asam. Sedangkan pada akhir penelitian nilai pH cenderung naik. Hal ini akibat adanya peningkatan penggunaan CO_2 oleh eceng gondok dalam proses fotosintesis. Pada proses fotosintesis CO_2 diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari cahaya matahari sedangkan hidrogen (H^+) diperoleh dari media tanam dan dari udara. Pengambilan ion H^+ dari media tanam tersebut akan menaikkan pH (*Sawyer, 1994*). Selain itu eceng gondok sendiri tergolong tumbuhan yang cenderung menaikkan pH, jumlah penyerapan proton yang dilakukan eceng gondok relatif melebihi hasil proton proses mikrobial (*Mangkoediharjo, 2002*).

Pada awal penelitian yaitu pada hari ke-1 sampai ke-5 nilai pH pada reaktor kontrol (tanpa tanaman) mengalami kenaikan. Tetapi nilai pH cenderung turun pada akhir penelitian. Perubahan nilai pH pada media ini dapat disebabkan karena adanya gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang terdapat pada media (*Dwidjoseputro, 1980*). Gas-gas yang timbul sebagai hasil pembongkaran (respirasi, fermentasi) oleh mikroorganisme berupa karbondioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2). Gas CO_2 yang terbentuk dapat menyebabkan pH turun menjadi lebih asam. Sedangkan hidrogen (H_2) yang timbul bersamaan dengan gas CO_2 dapat teroksidasi menjadi OH^- yang dapat menaikkan pH.

Pada reaktor kontrol (tanpa limbah) nilai pH cenderung naik. Hal ini dimungkinkan dapat terjadi karena peningkatan penggunaan CO_2 dalam proses fotosintesis. Pada proses fotosintesis CO_2 diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari cahaya matahari sedangkan hidrogen (H^+) diperoleh dari media tanam dan dari udara. Pengambilan ion H^+ dari media tanam tersebut akan menaikkan pH.

4.4.4 Pengukuran Suhu

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran suhu media tanam. Data mengenai pengukuran nilai suhu yang terjadi selama penelitian berlangsung ditampilkan pada Tabel 4.19 :

Tabel 4.19 Hasil Pengukuran Suhu

Hari ke	Suhu						
	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
0	28,7	28,6	28,6	28,5	28,4	28,5	28,6
1	28,5	28,5	28,5	28,4	28,3	28,4	28,4
2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
5	28,5	28,5	28,6	28,4	28,5	28,5	28,5
6	27,9	28,3	27,9	27,8	27,8	27,8	28,0
7	28,1	28,0	28,0	28,2	28,3	28,3	28,3
8	28,6	28,4	28,6	28,5	28,5	28,5	28,5
9	28,0	28,0	28,0	27,9	27,9	27,9	28,0
12	28,7	28,7	28,7	28,3	28,2	28,4	28,4
13	29,3	29,3	29,3	28,9	29,0	29,0	29,3
14	28,6	28,8	28,7	28,3	28,2	28,2	28,5
15	29,4	29,4	29,5	29,0	29,1	29,1	29,4
16	29,3	29,2	29,3	29,0	29,0	29,1	29,2
19	29,2	29,1	29,2	29,0	28,9	28,9	29,0

Lanjutan Tabel 4.19

20	28,9	28,8	28,9	28,4	28,3	28,3	29,0
21	30,2	30,2	30,2	29,9	29,9	29,8	30,0
22	29,7	29,8	29,7	29,5	29,4	29,4	29,8
23	29,2	29,2	29,2	29,0	28,9	29,0	29,5
26	29,8	29,8	29,8	29,4	29,3	29,4	29,8
27	29,1	29,1	29,2	28,9	28,9	28,8	29,1
28	29,6	29,6	29,7	29,1	29,2	29,1	29,4

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

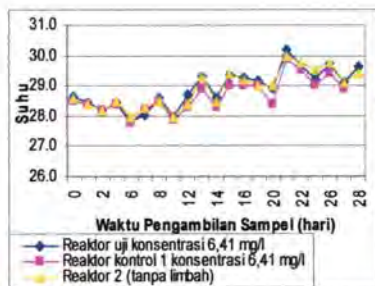
R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

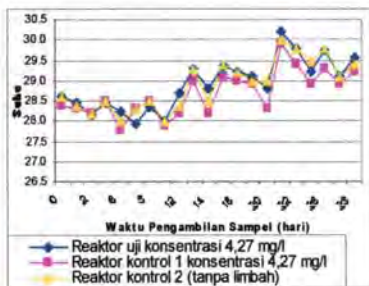
R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor kontrol dengan tanaman (tanpa limbah fenol buatan)

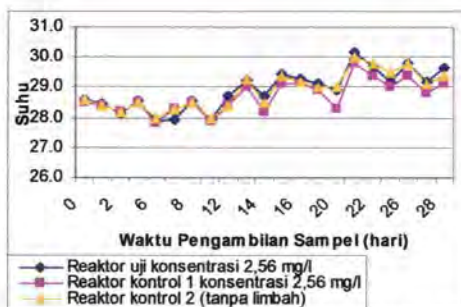


a) Konsentrasi 6,41 mg/L



(b) Konsentrasi 4,27 mg/L

Gambar 4.62 Grafik Pengukuran Suhu Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/L (a) dan 4,27 mg/L (b)



Gambar 4.63 Grafik Pengukuran Suhu Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Dari Gambar 4.62 – 4.63 terlihat bahwa perubahan suhu tidak hanya terjadi pada reaktor uji. Perubahan suhu juga terjadi pada reaktor kontrol, baik reaktor kontrol tanpa tanaman maupun reaktor kontrol tanpa limbah. Pada konsentrasi 6,41 mg/L, tidak terjadi perbedaan nilai suhu yang signifikan untuk reaktor uji dan reaktor kontrol. Naik turunnya suhu pada reaktor uji dan reaktor kontrol cenderung bersamaan setiap harinya. Hal ini juga terjadi pada konsentrasi fenol 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L.

Perubahan suhu yang terjadi pada media tanam masih berada dalam rentang suhu optimum yang diperlukan eceng gondok untuk pertumbuhannya. Suhu media tanam reaktor uji dengan eceng gondok berkisar antara 28,0 °C sampai 30,2 °C. Sedangkan suhu pada reaktor kontrol tanpa eceng gondok berkisar antara 27,8 °C sampai 29,9 °C. Suhu tersebut masih dalam kisaran suhu optimum yang diperlukan eceng gondok agar dapat tumbuh dengan baik yaitu antara 28 °C - 32 °C (Mangkoediharjo, 2002).

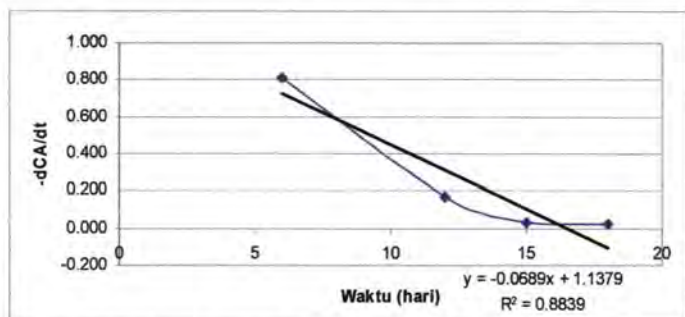
4.5 Laju Penurunan Fenol Pada Limbah *Phenolic Water*

Laju penurunan digunakan untuk menyatakan kecepatan kehilangan atau pembentukan zat tertentu (Slamet dan Masduki, 2000). Dalam penelitian ini, laju penurunan memperlihatkan kecepatan penyisihan fenol dalam limbah *phenolic water* yang dilakukan oleh sistem bioreaktor eceng gondok.

4.5.1 Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Sistem Bioreaktor Eceng Gondok

Tabel 4.20 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L

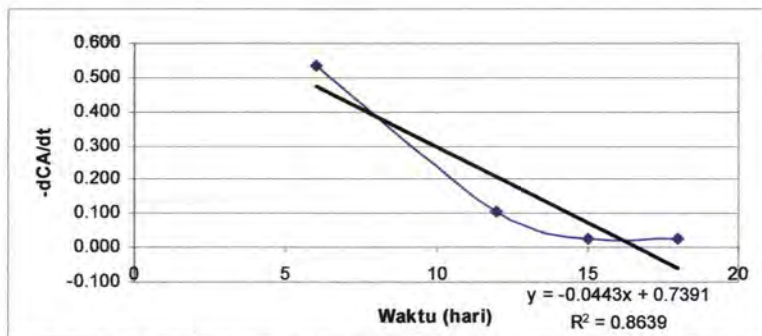
Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
6.41	0	-	-	-
1.53	6	-4.880	6	-0.813
0.51	12	-1.020	6	-0.170
0.42	15	-0.090	3	-0.030
0.35	18	-0.070	3	-0.023



Gambar 4.64 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/L

Tabel 4.21 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/L

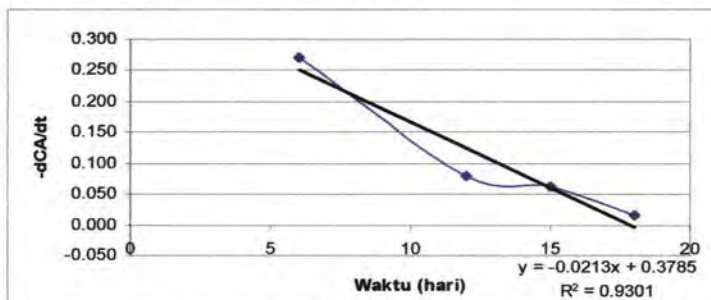
Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
4.27	0	-	-	-
1.05	6	-3.220	6	-0.537
0.43	12	-0.625	6	-0.104
0.34	15	-0.085	3	-0.028
0.26	18	-0.085	3	-0.028



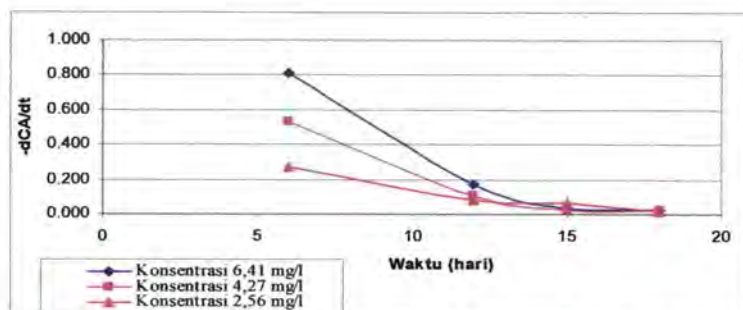
Gambar 4.65 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4.27 mg/L.

Tabel 4.22 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L

Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
2.56	0	-	-	-
0.93	6	-1.630	6	-0.272
0.45	12	-0.480	6	-0.080
0.265	15	-0.185	3	-0.062
0.22	18	-0.045	3	-0.015



Gambar 4.66 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/L.



Gambar 4.67 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water*

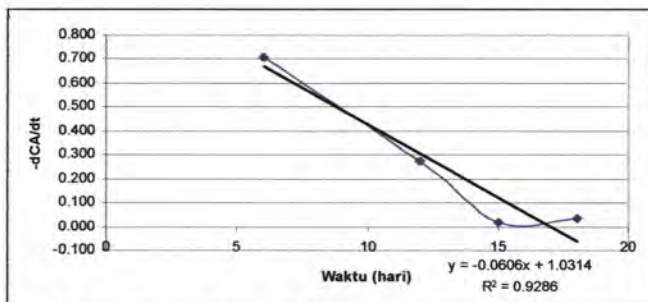
Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa semakin ke bawah maka konsentrasi semakin berkurang. Laju penurunan fenol dapat diketahui melalui nilai slope dari grafik laju penurunan. Semakin besar slope maka laju reaksi semakin baik. Dari Gambar 4.64 – 4.67 diketahui bahwa limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L memiliki laju penurunan paling baik.

Penerapan model kinetika biodegradasi merupakan suatu model pendekatan karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi di dalam reaktor penelitian. Faktor-faktor tersebut antara lain: materi organik, mikroorganisme, nutrisi non organik, oksigen, evaporasi, dan sebagainya. Hal ini juga berlaku pada kondisi alamiah di alam.

4.5.2 Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok

Tabel 4.23 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

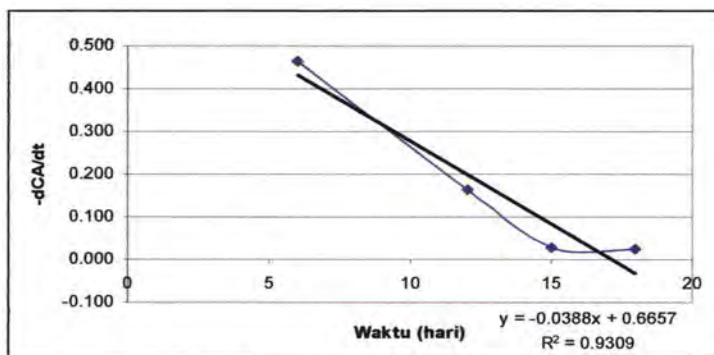
Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
6.41	0	-	-	-
2.16	6	-4.250	6	-0.708
0.51	12	-1.650	6	-0.275
0.46	15	-0.050	3	-0.017
0.36	18	-0.100	3	-0.033



Gambar 4.68 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

Tabel 4.24 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L

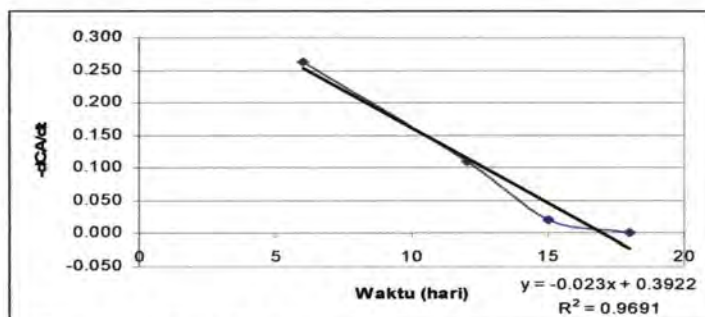
Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
4.27	0	-	-	-
1.48	6	-2.790	6	-0.465
0.5	12	-0.980	6	-0.163
0.41	15	-0.090	3	-0.030
0.33	18	-0.080	3	-0.027



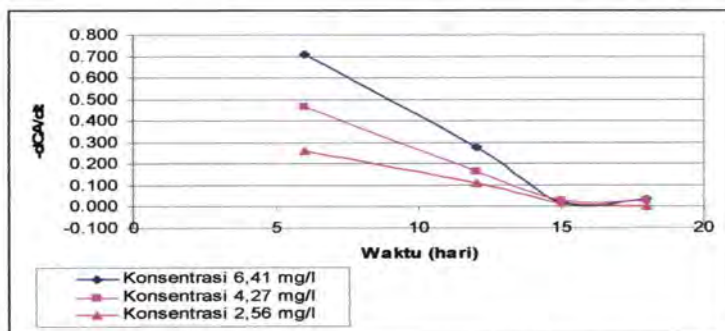
Gambar 4.69 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L

Tabel 4.25 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L

Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
2.56	0	-	-	-
0.98	6	-1.580	6	-0.263
0.32	12	-0.660	6	-0.110
0.26	15	-0.060	3	-0.020
0.26	18	0.000	3	-0.000

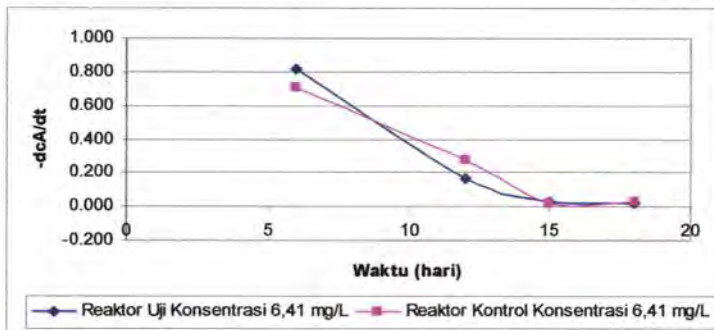


Gambar 4.70 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L



Gambar 4.71 Grafik Laju Penurunan Limbah *Phenolic Water* Pada Reaktor Kontrol

Dari gambar 4.67 – 4.71 dapat diketahui bahwa limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L memiliki laju penurunan paling baik. Laju reaksi penyisihan fenol dapat diketahui melalui nilai slope dari grafik laju reaksi. Semakin besar slope maka laju penurunan semakin baik.



Gambar 4.72 Grafik Perbandingan Laju Penurunan Fenol Pada Reaktor Uji dan Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

Dari gambar 4.72 dapat diketahui bahwa pada hari ke-6 sampai hari ke-12 masih terdapat peran eceng gondok dalam proses penurunan fenol, walaupun peran eceng gondok sangat kecil. Sedangkan pada hari ke-15 sampai akhir penelitian sudah tidak terlihat peran eceng gondok dalam penurunan fenol

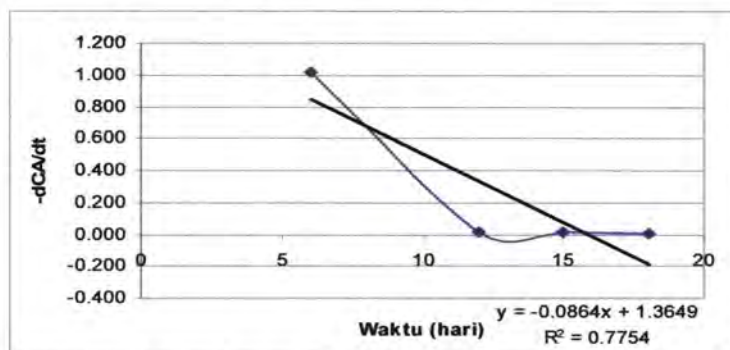
4.6 Laju Penurunan Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

4.6.1 Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Sistem Bioreaktor Eceng Gondok

Kurva laju penurunan fenol pada limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L; 4,27 mg/L dan 2,56 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4.73 – 4.76 :

Tabel 4.26 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan
Konsentrasi 6,41 mg/L

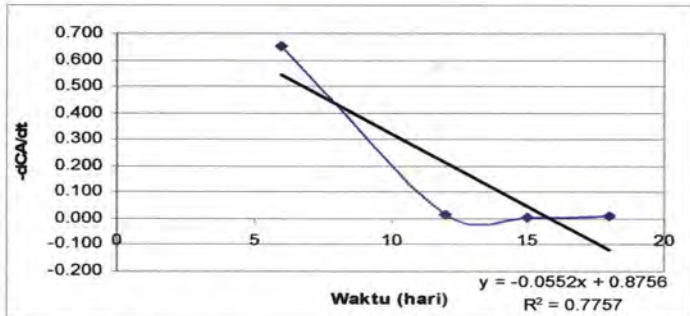
Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
6.41	0	-	-	-
0.31	6	-6.105	6	-1.018
0.21	12	-0.095	6	-0.016
0.18	15	-0.035	3	-0.012
0.15	18	-0.030	3	-0.010



Gambar 4.73 Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan
Konsentrasi 6,41 mg/L

Tabel 4.27 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan
Konsentrasi 4,27 mg/L

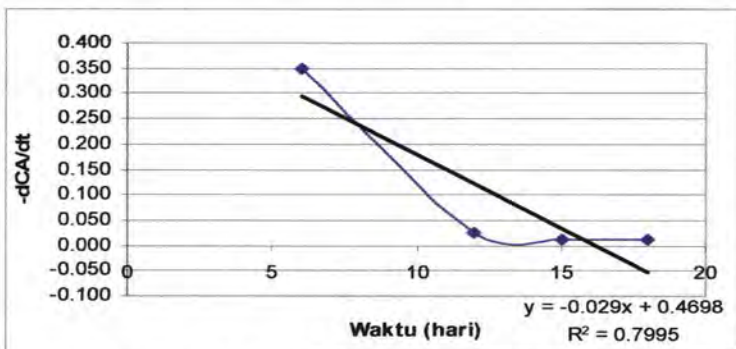
Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
4.27	0	-	-	-
0.35	6	-3.920	6	-0.653
0.26	12	-0.095	6	-0.016
0.24	15	-0.015	3	-0.005
0.21	18	-0.035	3	-0.012



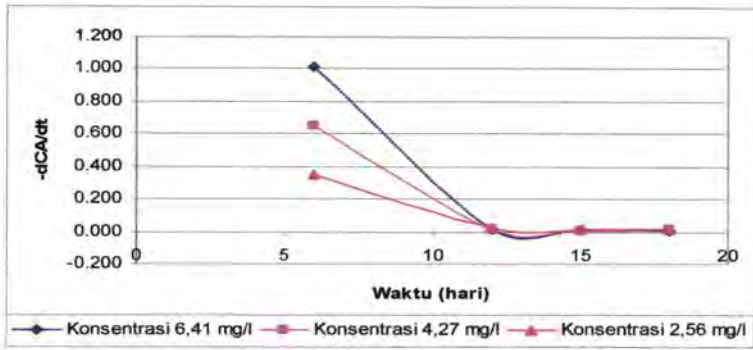
Gambar 4.74 Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/L

Tabel 4.28 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L

Konsentrasi (C_A)	Waktu (t)	dC_A	dt	dC_A/dt
2.56	0	-	-	-
0.47	6	-2.095	6	-0.349
0.30	12	-0.165	6	-0.028
0.27	15	-0.035	3	-0.012
0.23	18	-0.040	3	-0.013



Gambar 4.75 Grafik Laju penurunan Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L



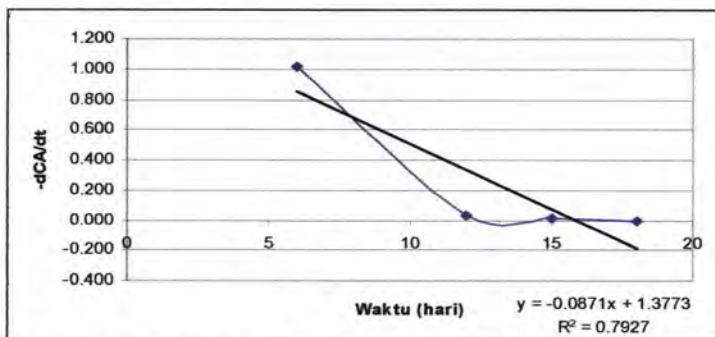
Gambar 4.76 Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan

Berdasarkan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa laju penurunan fenol yang paling baik adalah limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L. Hal ini disebabkan laju penurunan pada konsentrasi 6,41 mg/L memiliki nilai slope paling baik. Walaupun demikian, perbedaan laju penurunan fenol pada variasi konsentrasi di atas tidak terlalu jauh. Hal ini sesuai dengan hasil statistik dimana variasi konsentrasi tidak mempengaruhi penurunan fenol. Hasil perhitungan statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E.

4.6.2 Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok

Tabel 4.29 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

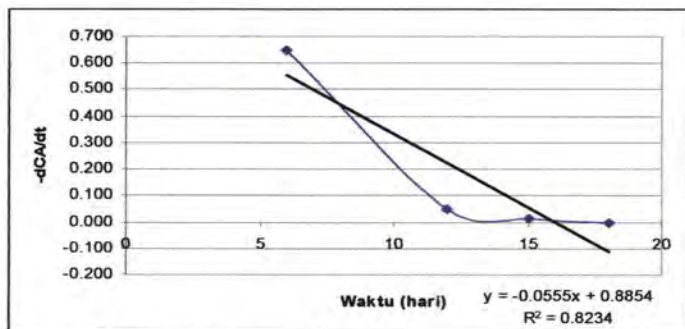
Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
6.41	0	-	-	-
0.30	6	-6.110	6	-1.018
0.11	12	-0.190	6	-0.032
0.06	15	-0.050	3	-0.017
0.06	18	0.000	3	-0.000



Gambar 4.77 Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

Tabel 4.30 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L

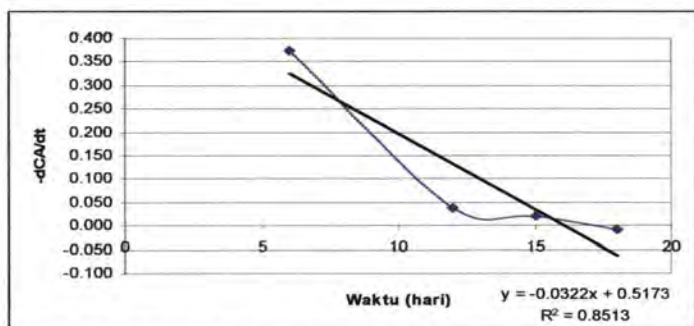
Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
4.27	0	-	-	-
0.39	6	-3.880	6	-0.647
0.09	12	-0.300	6	-0.050
0.05	15	-0.040	3	-0.013
0.05	18	0.000	3	-0.000



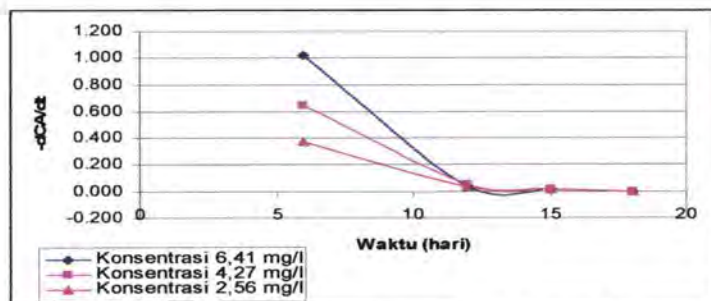
Gambar 4.78 Grafik Laju penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 4,27 mg/L

Tabel 4.31 Tabel Penentuan Nilai dC_A/dt Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L

Konsentrasi (CA)	Waktu (t)	dCA	dt	dCA/dt
2.56	0	-	-	-
0.32	6	-2.240	6	-0.373
0.09	12	-0.230	6	-0.038
0.03	15	-0.060	3	-0.020
0.05	18	0.020	3	0.007

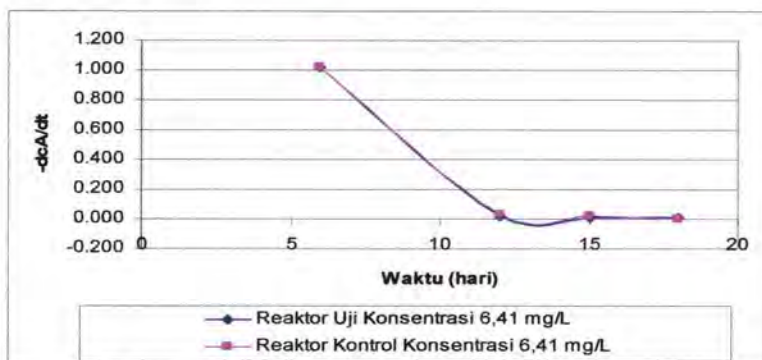


Gambar 4.79 Grafik Laju penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol Konsentrasi 2,56 mg/L



Gambar 4.80 Grafik Laju Penurunan Limbah Fenol Buatan Pada Reaktor Kontrol

Berdasarkan Gambar 4.77 – 4.80 dapat disimpulkan bahwa laju reaksi penysisihan fenol yang paling baik pada reaktor kontrol adalah limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L. Hal ini disebabkan laju reaksi pada konsentrasi 6,41 mg/L memiliki nilai slope paling baik.



Gambar 4.81 Grafik Perbandingan Laju Penurunan Fenol Pada Reaktor Uji dan Reaktor Kontrol Konsentrasi 6,41 mg/L

Dari gambar 4.81 dapat diketahui bahwa pada limbah fenol buatan tidak terlihat peran eceng gondok dalam proses penurunan fenol.

4.7 Alternatif Pengolahan Sekunder Limbah Fenol

Alam mempunyai kemampuan terbatas dalam mengolah air limbah. Begitu juga dengan sistem bioreaktor eceng gondok pada penelitian ini. Sistem bioreaktor eceng gondok hanya bisa digunakan sebagai tertiary treatment pengolahan limbah *phenolic water*. Hal ini disebabkan karena sistem ini hanya bisa dilakukan pada kadar fenol paling tinggi 6,41 mg/L. Oleh karena itu perlu adanya alternatif pengolahan sekunder bagi limbah *phenolic water*, sebelum diaplikasikan pada sistem bioreaktor eceng gondok. Pengolahan sekunder yang dapat digunakan sebagai pengolahan limbah fenol antara lain :

1. Sequence Batch Reactor (SBR)

Efisiensi pengolahan fenol dengan menggunakan sistem ini mencapai 87,5 % dalam jangka waktu 1 minggu pengolahan.

2. Sistem Granular Activated Carbon-Sequence Batch Reactor (GAC-SBR)

Sistem ini telah digunakan dalam suatu penelitian untuk mengolah limbah pabrik sintetik dengan kandungan fenol 1000 mg/L dan COD 3200 mg/L. Dalam penelitian tersebut didapat efisiensi penyisihan fenol hingga mencapai 98,8 % dalam jangka waktu 1 minggu pengolahan (Sirianuntapiboon, Vinitnantharat, Chamlongras, 1999).

Pengolahan tersier limbah fenol dapat dilakukan tanpa keterlibatan tumbuhan. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa peran eceng gondok tidak terlalu signifikan dalam penyisihan fenol. Pengolahan fenol dengan memanfaatkan mikroorganisme dan evaporasi mampu menghasilkan efisiensi lebih dari 90 %. Bahkan proses evaporasi sendiri mampu menyisihkan fenol hingga 74,18 %. Pengolahan tersier ini dapat diaplikasikan dengan sistem bioremediasi oleh mikroorganisme dalam suatu ponds, sedangkan aliran air dilakukan secara kontinyu.




BAB V

KESIMPULAN

BAB V KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Konsentrasi maksimum fenol yang dapat diturunkan kadarnya oleh sistem bioreaktor eceng gondok adalah 6,41 mg/l.
2. Sistem bioreaktor eceng gondok berperan dalam penurunan fenol dan COD. Dalam penyisihan fenol peran eceng gondok sangat kecil tetapi eceng gondok masih cukup berperan dalam penurunan COD.
 - a. Efisiensi penyisihan fenol dan penurunan COD pada limbah *phenolic water* :
 - Reaktor uji : 91,41 % - 94,54 % dan 69,26 % - 78,22 %
 - Reaktor kontrol : 89,84 % - 94,38 % dan 56,44 % - 75,50 %
 - b. Efisiensi penyisihan fenol dan penurunan COD pada limbah fenol buatan :
 - Reaktor uji : 91,21 % - 97,74 % dan 73,62 % - 82,71 %.
 - Reaktor kontrol : 98,05 % - 99,06 % dan 72 % - 78,22 %
 - c. Sistem bioreaktor eceng gondok tidak begitu efektif dalam menurunkan fenol pada limbah industri *phenolic water* maupun pada limbah fenol buatan. Penurunan fenol pada limbah fenol buatan lebih baik daripada limbah *phenolic water*. Hal ini terjadi karena karakteristik limbah *phenolic water* lebih toksik daripada limbah fenol buatan. Dalam limbah *phenolic water* terdapat senyawa-senyawa seperti Fe, Cr, dan Al yang dapat menyebabkan proses penurunan fenol terganggu.



DAFTAR ACUAN

DAFTAR ACUAN

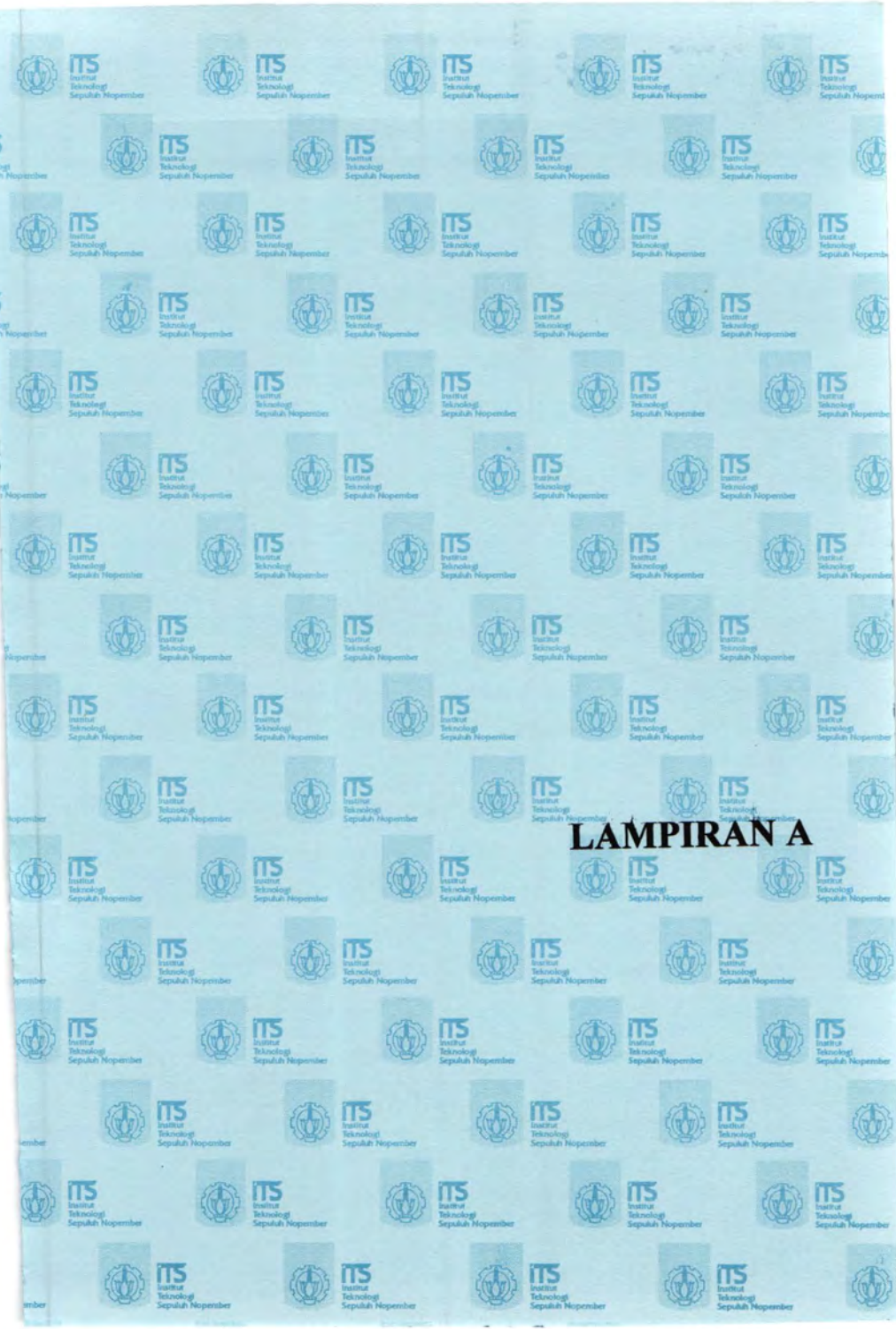
- Adrian, WE. 2002. **Water Hyacinth (Eichhornia crassipes)**. Canada: University of Waterloo.
- Alaert, G dan Sri S. S. 1987. **Metoda Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.
- Amalia, D. 2005. **Studi Efektifitas Penurunan Kromium (Cr^{6+}) pada Air Limbah Dengan Menggunakan Eceng Gondok**. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- American Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA), WEF. 1998. **Standart Methods for Examination Water and Wastewater. 20th Edition**. Washington.
- Aneja, K. R. And Singh, K. 1992. **Effect of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes (mart). Solm.) on the Physicochemical Envoronmental of Shallow Pond**. Proc. Indian Nate. Sci. Acad.
- Brij, D dan K.P Sharma. 1981. **Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) The Most Troublesome Weed of The World**, <URL:http://www.unmul.ac.id/dat/pub/lemlit/eceng_gondok.pdf>.
- Conway, A. R. and Ross, D. R. 1980. **Hanbook of Industrial Waste Disposal**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Cooper, P. F. and Findlater, B. C. 1990. "Constructed Wetland in Water Pollution Control". **Proceeding of The International Conference on The Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control**. UK: Cambridge. 605 pp.
- Dwijoseputro, D. 1980. **Pengantar Fisologi Tumbuhan**. Jakarta : PT Gramedia.
- Fessenden & Fessenden. 1986. **Kimia Organik, edisi 3**. Jakarta: Erlangga.

- Gopal, B and K. P. Sharma. 1981. **Water - Hyacinth (Eichhornia crassipes) The Most Troublesome Weed of The World**, <URL:http://www.unmul.ac.id/dat/pub/lemlit/eceng_gondok.pdf>.
- Ikawati, S. 2005. **Biodegradasi Zat Warna Tekstil Yang Mengandung Gugus Diazo dan Quinone dengan menggunakan Jamur Pelapuk Putih (Phanerochaete chysosporium)**. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Judaningsih. 1988. **Pemanfaatan Eceng Gondok Untuk Menanggulangi Pencemaran Lingkungan**. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Surabaya
- Jumin, H.B.Ir. 1992. **Ekologi Tumbuhan: (suatu Pendekatan Fisiologis)**. Jakarta: CV Rajawali.
- Kobayashi, Daidai, Suzuki, Nakamura. 3 April 2007. "International biodeterioration & Biodegradation". **1st international Conference of Environmental, industrial, and Applied Microbiology**. Vol 59, pages 252-254.
- La Grega, Buckingham, Evans. 2001. **Hazardous Waste Management, 2nd edition**. New York: Mc GrawHill.
- Mangkoedihardjo, S. 2002. **Efek Zat Organik Air Limbah Terhadap Pertumbuhan Eceng Gondok**. Disertasi Program Pasca Sarjana Studi Ilmu Kekhususan Ekologi Universitas Brawijaya. Malang.
- Martin, Alexander. 1994. **Biodegradation and Bioremediation**. Departement of Crop Soil And Atmospheric Sciences College of Agriculture And Life Science Cornell University Ithaca New York.
- Martin, J.E. and Johnson H.J. 1987. **Hazardous Waste Management Engineering**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Moenandir, J. 1990. **Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma-Buku I)**. Jakarta: Rajawali Pers.

- Nugraheni, P. 2001. **Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Untuk Menurunkan Salinitas & Kesadahan Sumber Air Baku Air Minum Bersifat Payau**. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Polprasert, C. 1989. **Organic Waste Recycling**. Environmental Technology. Bangkok: Thailand.
- Prpich, G. and Daugulis, A., August. 2005. "Biodegradation". **Department of Chemical Engineering, Queen's University, Kingston, Canada**. Vol 16, No. 4 : 329-339(11).
- Sawyer, McCarty, Parkin. 1994. **Chemistry for Environmental Engineering, fourth edition**. Mc Graw Hill Book Company.
- Sawyer, McCarty, Parkin. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science, fifth edition**. Mc Graw Hill.
- Sirianuntapiboon, Vinitnantharat, Chamlongras, Jan. 1999. "Removal of Organic Matters and Phenol Compounds from the Waste Water by Using Granular Activated Carbon-Sequence Batch Reactor System". **Thammasat Int. J. Sc. Tech.**, Vol 4, No. 1 : 38-48.
- Slamet dan Masduki. 2000. **Satuan Operasi**. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Sunarmi, P. Purwohadijanto. 1990. **Tanaman Air**. Fakultas Perikanan. Malang: Universitas Brawijaya..
- Suwariyanti, A. 2002. **Studi Literatur Penurunan Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) Dalam Limbah Cair Dengan Memanfaatkan Tumbuhan Air**. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Tjahyati, J.M. 2005. **Bioremoval Air Limbah Industri Pencelupan Benang dan Zat Warna Quinone di**

Dalam Sistem Bioreaktor Kayu Apu. Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.

Wood, A. 1990. **Constructed Wetland for Wastewater Treatment Engineering and Design Consideration.** Cooper, P. F. And Findlater, B. C. (eds). Pergamon Press. UK.



LAMPIRAN A

LAMPIRAN A PENENTUAN PANJANG GELOMBANG DAN KALIBRASI FENOL

I. Pembuatan Larutan fenol

1. Pembuatan larutan fenol konsentrasi 1000 mg/l
Larutkan 1 gr kristal fenol dalam 1 liter air aquadest. Larutan ini digunakan sebagai larutan sediaan fenol selama penelitian.
2. Pembuatan larutan standart fenol konsentrasi 2 mg/l.
Dilartukan 0,5 ml larutan sediaan fenol dalam 250 ml aquadest.

$$\begin{aligned}
 N_1 \times V_1 &= N_2 \times V_2 \\
 1000 \text{ mg/l} \times V_1 &= 2 \text{ mg/l} \times 250 \text{ ml} \\
 &= 0,5 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

3. Pembuatan larutan untuk kalibrasi fenol.
Konsentrasi yang digunakan dalam pembuatan larutan kalibrasi fenol adalah 0,8 – 1,5 mg/l. Untuk konsentrasi 0,8 mg/l, diambil 10 ml larutan standart fenol 2 mg/l dan diencerkan dalam 25 ml aquadest. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 N_1 \times V_1 &= N_2 \times V_2 \\
 2 \text{ mg/l} \times V_1 &= 0,8 \text{ mg/l} \times 25 \text{ ml} \\
 &= 10 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama akan didapatkan larutan fenol dengan konsentrasi 0,9 mg/l – 1.5 mg/l. Untuk konsentrasi 0,9 mg/l; 1 mg/l; 1,1 mg/l; 1,2 mg/l; 1,3 mg/l; 1,4 mg/l dan 1.5 mg/l diambil larutan standart fenol masing-masing sebesar 11,25 ml; 12,5 ml; 13,75 ml; 15 ml; 16,25 ml; 17,5 ml dan 18,75 ml. Kemudian diencerkan dalam 25 ml aquadest.

II. Penentuan panjang gelombang optimum

Panjang gelombang yang digunakan untuk analisa fenol didapatkan dengan mencari gelombang optimum. Sample yang

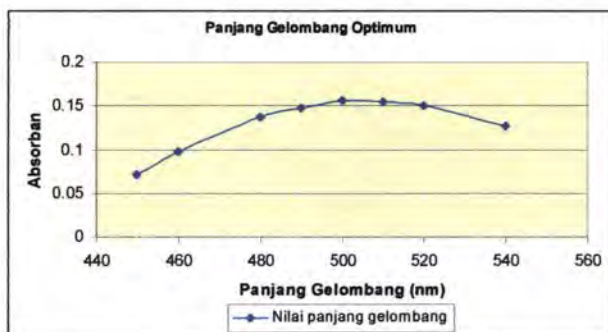


digunakan untuk mencari gelombang optimum adalah larutan fenol dengan konsentrasi 0,8 mg/l. Berikut adalah data pengukuran gelombang optimum.

Tabel A.1 Hasil Pengukuran Panjang Gelombang Optimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorban
450	0,071
460	0,098
480	0,137
490	0,147
500	0,156
510	0,155
520	0,150
540	0,127

Dari data yang telah diperoleh, selanjutnya dibuat grafik untuk menentukan panjang gelombang optimum. Dimana panjang gelombang optimum memiliki nilai absorban yang paling tinggi. Adapun grafik hubungan panjang dan nilai absorban adalah sebagai berikut :



Gambar A-1 Panjang Gelombang Optimum

Dari Gambar A-1 dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang optimum adalah 500 nm. Pada panjang gelombang tersebut didapatkan nilai absorban yang paling tinggi, dimana pada absorban tertinggi memiliki nilai penyimpangan yang paling kecil.

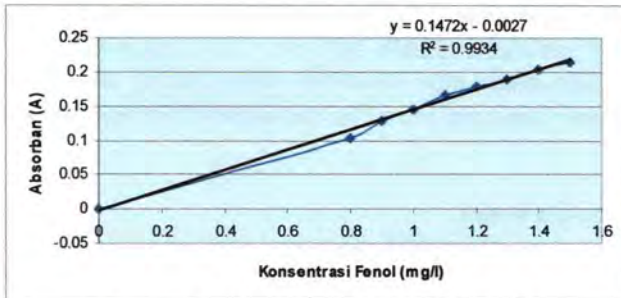
III. Kalibrasi Fenol

Untuk mengetahui konsentrasi fenol yang akan dianalisa, maka dibuat terlebih dahulu kalibrasi fenol dengan panjang gelombang optimum yaitu 500 nm. Pembuatan kurva kalibrasi fenol dilakukan lebih dari 1 kali. Pada setiap pembuatan reagen baru maka dilakukan pembuatan kalibrasi fenol. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya perubahan karakteristik dari reagen yang digunakan. Adapun hasil kalibrasi fenol yang dilakukan adalah sebagai berikut :

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

c (mg/l)	A (y)	Cek C (mg/l)	Selisih
0	0	0	0
0.8	0.103	0.718	0.082
0.9	0.129	0.895	0.005
1	0.146	1.010	-0.010
1.1	0.166	1.146	-0.046
1.2	0.178	1.228	-0.028
1.3	0.190	1.309	-0.009
1.4	0.203	1.397	0.003
1.5	0.215	1.479	0.021

Dari data di atas, selanjutnya dibuat grafik kalibrasi fenol dan regresi liniernya. Regresi linier tersebut dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi fenol yang akan dianalisis. Berikut adalah grafik kalibrasi fenol I :

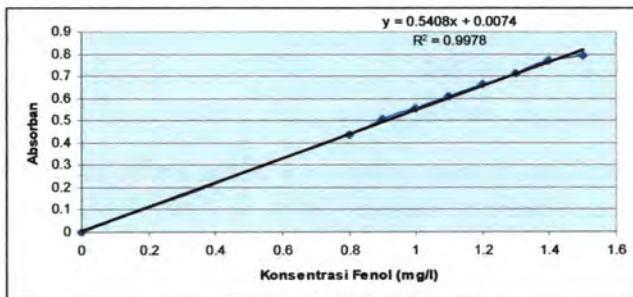


Gambar A.2 Kurva Kalibrasi Fenol I

Data hasil kalibrasi fenol II, III dan IV dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

Tabel A.3 Hasil Kalibrasi Fenol II (30 April 2007)

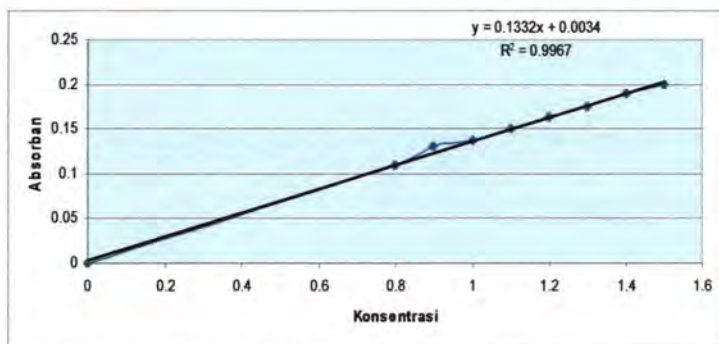
C (mg/l)	A (y)	Cek C (mg/l)	Selisih
0	0	0	0
0.8	0.434	0.790	0.010
0.9	0.5	0.912	-0.012
1	0.553	1.010	-0.010
1.1	0.608	1.112	-0.012
1.2	0.664	1.215	-0.015
1.3	0.713	1.305	-0.005
1.4	0.772	1.414	-0.014
1.5	0.793	1.453	0.047



Gambar A.3 Kurva Kalibrasi Fenol II

Tabel A.4 Hasil Kalibrasi Fenol III (7 Mei 2007)

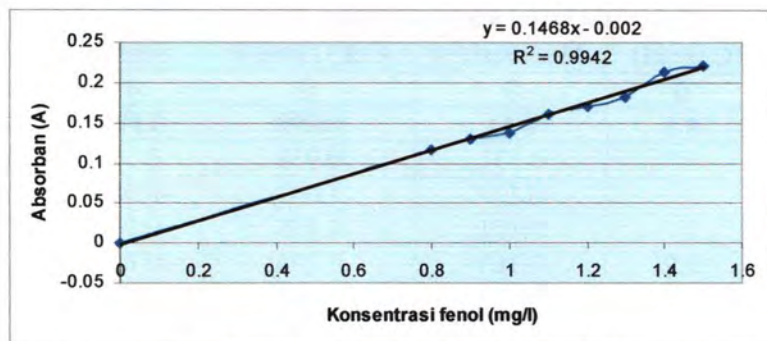
C (mg/l)	Absorban (y)	Cek C (mg/l)	Selisih
0	0	0	0
0.8	0.11	0.800	0.000
0.9	0.131	0.958	-0.058
1	0.137	1.003	-0.003
1.1	0.151	1.108	-0.008
1.2	0.164	1.206	-0.006
1.3	0.175	1.288	0.012
1.4	0.189	1.393	0.007
1.5	0.199	1.468	0.032



Gambar A.4 Kurva Kalibrasi Fenol III

Tabel A.5 Hasil Kalibrasi Fenol IV (18 Juni 2007)

C (mg/l)	Absorban (y)	Cek C (mg/l)	Selisih
0	0	0	0
0.8	0.117	0.811	-0.011
0.9	0.13	0.899	0.001
1	0.138	0.954	0.046
1.1	0.161	1.110	-0.010
1.2	0.17	1.172	0.028
1.3	0.183	1.260	0.040
1.4	0.213	1.465	-0.065
1.5	0.22	1.512	-0.012



Gambar A.5 Kurva Kalibrasi Fenol IV



LAMPIRAN B

LAMPIRAN B

PROSEDUR ANALISA LABORATORIUM

I. Analisa Fenol

Bahan dan Alat :

a. Bahan :

- Larutan Ammonium Hidroksida (NH_4OH) 0,5 N
- Larutan Buffer Phospat pH 6,8 – 7,9
- Larutan 4 - Aminoantipirin
- Larutan Kalium Ferisianida ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$)

b. Alat :

- Erlenmeyer 250 ml
- Labu ukur 100 ml
- Pipet volumetric 1 ml; 2 ml; 5 ml dan 10 ml
- Spektrofotometer (Spectronic™ 20 Genesys)

Pembuatan bahan/reagen yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Larutan Ammonium Hidroksida (NH_4OH) 0,5 N
Ecerkan 35 mL NH_4OH pekat dengan aquadest sampai 1000 ml.
- b. Larutan Buffer Phospat pH 6,8 – 7,9
 - Timbang 104,5 g K_2HPO_4 dan 72,3 g KH_2PO_4 .
 - Larutkan 104,5 g K_2HPO_4 dan 72,3 g KH_2PO_4 dalam 1000 mL aquadest.
- c. Larutan 4 – Aminoantipirin
Larutkan 2,0 g kristal 4 - Aminoantipirin dalam 100 mL aquadest.
- d. Larutan Kalium Ferisianida ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$)
Larutkan 8,0 g kristal kalium ferisianida dalam 100 mL aquadest.

Prosedur Analisa :

- a. Ukur 100 mL contoh uji dan masukkan ke dalam erlenmeyer 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 15 menit.
- e. Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansi pada panjang gelombang 500 nm.

II. Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Bahan dan Alat :

a. Bahan :

- Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat Pekat (H_2SO_4)
- Kristal Merkuri Sulfat (HgSO_4)
- Larutan standart Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 ml.
- Larutan indikator Fenantroline Ferro Sulfat (Feroin)

b. Alat :

- Erlenmeyer COD
- Buret 50 ml
- Pipet volumetric 5 ml dan 10 ml
- Alat refluks dan pemanasnya
- Beker glass 50 ml

Pembuatan bahan/reagen yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N

- Timbang dengan teliti 4,9036 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- Larutkan dalam labu ukur 1 L dengan aquadest sampai tanda batas.

b. Larutan Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N

- Timbang 39,2 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- Larutkan 39,2 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ dan 8 ml H_2SO_4 pekat dalam 1000 mL aquadest.
- c. Larutan Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat Pekat (H_2SO_4)
Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat. Biarkan hingga 1 malam.
- d. Larutan indikator Feroin
Larutkan 1,485 gram orthopenantrolin dan 0,695 gram dalam 100 mL aquadest.

Standarisasi Larutan Ferro Amonium Sulfat 0,1 N :

- a. Pipet 2 ml larutan standart $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N
- b. Diencerkan dengan aquadest sampai volume ± 20 ml
- c. Tambahkan 8 mL H_2SO_4 pekat dan dinginkan.
- d. Tambahkan 3 tetes indicator feroin
- e. Titrasi dengan Ferro Amonium Sulfat hingga warna menjai merah-coklat.

$$\text{Normalisasi FAS} = \frac{ml\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times \text{Normalitas}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{ml\text{FAS}}$$

Prosedur Analisa :

- a. Masukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam erlemeyer.
- b. Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml air aquadest ke dalam erlenmeyer.
- c. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N.
- d. Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- e. Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
- f. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- g. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensor sampai volume 150 ml.

- h. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- i. Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
- j. Titrasi dengan larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,1 N hingga warna menjadi merah coklat. Catat volume titran.

Perhitungan :

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{volumesampel(ml)}} \times p$$

Dimana :

- a = ml FAS titrasi blanko
- b = ml FAS titrasi sample
- N = Normalitas larutan FAS
- p = Pengenceran

III. Analisa pH dan Suhu

Bahan dan Alat :

- a. Sampel air
- b. pH meter

Prosedur Analisa

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



LAMPIRAN C

LAMPIRAN C DATA HASIL PENELITIAN

I. Data Penelitian Limbah *Phenolic Water*

Tabel C.1 Hasil Pengukuran Nilai Absorban Fenol

Hari	Absorban Limbah Phenolic Water								
	R1	R13	R2	R14	R3	R15	R4	R5	R6
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.212	0.233	0.140	0.164	0.13	0.138	0.315	0.215	0.141
12	0.28	0.288	0.241	0.235	0.216	0.280	0.283	0.277	0.181
15	0.225	0.242	0.192	0.19	0.136	0.163	0.256	0.231	0.150
18	0.055	0.045	0.030	0.045	0.031	0.034	0.052	0.047	0.038

Keterangan :

Hari ke-6 : menggunakan kurva kalibrasi I

Hari ke-12 : menggunakan kurva kalibrasi II

Hari ke-15 : menggunakan kurva kalibrasi II

Hari ke-18 : menggunakan kurva kalibrasi III

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R14 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R15 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.2 Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol

Hari	Limbah <i>Phenolic Water</i> (mg/L)								
	R1	R13	R2	R14	R3	R15	R4	R5	R6
0	6.41	6.41	4.27	4.27	2.56	2.56	6.41	4.27	2.56
6	1.46	1.60	0.97	1.13	0.90	0.96	2.16	1.48	0.98
12	0.50	0.52	0.43	0.42	0.39	0.50	0.51	0.50	0.32
15	0.40	0.43	0.34	0.34	0.24	0.29	0.46	0.41	0.26
18	0.39	0.31	0.20	0.31	0.21	0.23	0.36	0.33	0.26

Keterangan :

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R14 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R15 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.3 Hasil Perhitungan Nilai COD

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	R1	R13	R2	R14	R3	R15
0	240.00	360.00	220.00	320.00	200.00	240.00
6	145.60	127.40	127.40	127.40	109.20	109.20
12	140.00	120.00	120.00	120.00	100.00	100.00
15	124.60	106.80	106.80	106.80	71.20	89.00
18	109.20	91.00	91.00	91.00	63.70	72.80
24	82.40	61.80	82.40	61.80	61.80	82.40
30	78.40	58.80	58.80	58.80	58.80	76.44

Lanjutan Tabel C-3

Hari	Nilai COD (mg/L)		
	R4	R5	R6
0	320.00	240.00	180.00
6	236.60	182.00	163.80
12	200.00	160.00	140.00
15	178.00	142.40	124.60
18	127.40	127.40	109.20
24	82.40	103.00	100.94
30	78.40	88.20	78.40

Keterangan :

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

R13 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R14 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R15 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.4 Hasil Pengukuran pH

Hari ke	Nilai pH								
	R1	R2	R3	R13	R14	R15	R4	R5	R6
0	7.3	7.4	7.6	7.6	7.3	7.3	7.3	7.3	7.5
1	7.2	7.2	7.3	7.3	7.2	7.1	7.3	7.3	7.5
2	7.1	7.2	7.4	7.2	7.2	7.1	7.4	7.7	7.6
5	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	7.9	8.2	7.4

Lanjutan Tabel C.4

6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	7.1	7.8	8.1	7.3
7	7	7	7	7.1	7.1	7.2	8	8.1	6
8	7	6.9	6.9	7.1	7	6.9	8	8	7.2
9	7	6.9	7	7.1	7	7.1	8	8	7.2
12	7	7	6.1	7.2	7.1	7.1	8.1	8.3	7.2
13	7	7	6.3	7.1	7.1	7	8.2	8.4	7.3
14	6.9	6.8	6	7.1	6.8	6.7	8	8	7.3
15	6.8	6.7	5.9	7	6.8	7	8.2	8.1	7.3
16	6.8	6.6	5.9	6.9	6.8	6.8	7.7	7.7	7.3
19	6.8	6.8	6.2	6.9	6.9	7	7.8	7.8	7.4
20	6.9	6.8	6.1	6.9	6.8	6.9	7.7	7.7	7.4
21	6.9	6.7	5.9	6.9	6.8	7	7.7	7.7	7.5
22	7	6.8	6	6.9	6.9	7	7.7	7.7	7.5
23	7.1	6.8	6	6.9	6.9	6.9	7.7	7.6	7.6
26	7.1	7	6	7	7	7	7.7	7.6	7.6
27	7.2	7	6.2	7	7.1	7.1	7.7	7.6	7.7
28	7.2	7.1	6.3	7	7.2	7.2	7.6	7.5	7.7

Keterangan :

- R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L
R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L
R13 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R14 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R15 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.5 Hasil Pengukuran Suhu

Hari ke	Suhu								
	R1	R2	R3	R13	R14	R15	R4	R5	R6
0	28.6	28.7	28.6	28.7	28.7	28.6	28.5	28.6	28.5
1	28.5	28.4	28.5	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
2	28.2	28.2	28.1	28.3	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2
5	28.5	28.5	28.4	28.6	28.5	28.4	28.5	28.5	28.4
6	27.9	27.9	28.1	28.0	28.2	27.9	27.8	27.8	27.8
7	28.1	28.1	28.1	27.8	27.9	27.9	28.2	28.2	28.2
8	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.5	28.5	28.5
9	28.1	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.9	27.9	27.9
12	28.7	28.6	28.5	28.6	28.7	28.7	28.1	28.0	28.2
13	29.1	29.1	29	29.2	29.4	29.1	29.0	28.9	29.0
14	28.8	28.6	28.7	28.4	28.6	28.5	28.4	28.4	28.4
15	29.3	29.4	29.3	29.5	29.4	29.2	29.1	29.0	29.1
16	29.1	29.0	29.2	29.2	29.1	28.9	28.8	29.0	29.1
19	29.2	29.0	29.3	29.3	29.4	29.0	29.0	28.9	29.1
20	28.9	28.8	28.6	28.7	28.9	28.7	28.5	28.2	28.3
21	30.1	30.2	30.2	30.1	30.1	30.2	29.8	29.9	29.8
22	29.8	29.7	29.8	29.6	29.7	29.5	29.4	29.3	29.5
23	29.1	29.4	29.3	29.5	29.6	29.4	29.3	29.2	29.3
26	29.8	29.7	29.9	29.8	29.8	29.6	29.3	29.2	29.0
27	28.9	29.2	29.1	29.2	29.1	29.3	29.1	29.0	29.1
28	29.5	29.4	29.6	29.3	29.6	29.7	29.0	29.1	29.3

Keterangan :

R1 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L

R2 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L

R3 : Reaktor uji limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

- R4 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
 R5 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
 R6 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L
 R13 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 6,41 mg/L
 R14 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 4,27 mg/L
 R15 : Reaktor uji duplo limbah *phenolic water* konsentrasi 2,56 mg/L

II. Data Penelitian Limbah Fenol Buatan

Tabel C.6 Hasil Pengukuran Nilai Absorban Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Absorban Limbah Fenol Buatan (mg/L)								
	R7	R16	R8	R17	R9	R18	R10	R11	R12
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.030	0.054	0.042	0.056	0.071	0.060	0.042	0.054	0.044
12	0.116	0.125	0.150	0.140	0.151	0.184	0.068	0.056	0.055
15	0.095	0.011	0.146	0.123	0.146	0.152	0.040	0.035	0.021
18	0.021	0.025	0.033	0.029	0.035	0.032	0.011	0.010	0.010

Keterangan :

Hari ke-6 : menggunakan kurva kalibrasi I

Hari ke-12 : menggunakan kurva kalibrasi II

Hari ke-15 : menggunakan kurva kalibrasi II

Hari ke-18 : menggunakan kurva kalibrasi III

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

- R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R16 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R17 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R18 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.7 Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Limbah Fenol Buatan (mg/L)								
	R7	R16	R8	R17	R9	R18	R10	R11	R12
0	6.41	6.41	4.27	4.27	2.56	2.56	6.41	4.27	2.56
6	0.22	0.39	0.3	0.4	0.50	0.43	0.3	0.39	0.32
12	0.20	0.22	0.26	0.25	0.27	0.33	0.11	0.09	0.09
15	0.16	0.19	0.26	0.21	0.26	0.27	0.06	0.05	0.03
18	0.13	0.16	0.22	0.19	0.24	0.21	0.06	0.05	0.05

Keterangan :

- R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R16 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R17 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R18 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.8 Hasil Perhitungan Nilai COD Pada Limbah Fenol Buatan

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	R7	R16	R9	R17	R11	R18
0	160.00	180.00	140.00	160.00	120.00	140.00
6	91.00	109.20	109.20	91.00	91.00	91.00
12	80.00	100.00	80.00	80.00	80.00	70.00
15	53.40	89.00	53.40	71.20	71.20	53.40
18	52.78	72.80	52.78	54.60	63.70	36.40
24	41.20	59.74	41.20	20.60	59.74	20.60
30	19.60	39.20	39.20	19.60	49.00	19.60

Lanjutan Tabel C-8

Hari	Nilai COD (mg/L)		
	R10	R11	R12
0	180.00	160.00	140.00
6	127.40	127.40	91.00
12	100.00	80.00	80.00
15	89.00	71.20	71.20
18	72.80	63.70	63.70
24	61.80	61.80	41.20
30	58.80	39.20	39.20

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

- R16 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R17 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R18 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.9 Hasil Pengukuran pH Limbah Fenol Buatan

Hari ke	Nilai pH								
	R7	R8	R9	R16	R17	R18	R10	R11	R12
0	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.2	7.3
1	7.3	7.2	7.3	7.2	7.1	7.3	7.4	7.3	7.5
2	7.2	7.3	7.5	7.4	7.2	7.5	7.8	7.8	7.9
5	7.1	7.2	7.0	7.2	7.1	7.0	8.1	8.0	8.1
6	6.8	6.8	6.5	6.8	6.7	6.3	7.9	7.9	7.9
7	6.7	6.7	6.3	6.8	6.3	6.0	8.0	7.9	7.9
8	6.6	6.2	5.9	6.5	6.0	5.7	7.8	7.8	7.8
9	6.2	6.5	5.8	6.4	5.8	5.5	7.8	7.8	7.8
12	5.9	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0	7.8	7.8	7.8
13	6.1	6.0	5.8	6.1	6.0	6.1	7.8	7.8	7.8
14	5.8	5.8	5.7	5.6	5.6	5.6	7.5	7.6	7.5
15	5.8	5.7	5.7	5.6	5.8	5.9	7.5	7.8	7.6
16	5.7	5.7	6.0	5.9	6.0	5.9	7.4	7.5	7.4
19	6.2	5.6	6.2	6.3	6.1	6.0	7.4	7.5	7.5
20	6.2	5.7	6.1	6.3	6.0	6.0	7.3	7.5	7.3
21	6.3	5.8	6.0	6.4	6.0	6.1	7.3	7.5	7.2
22	6.2	5.7	5.9	6.3	5.9	6.0	7.3	7.5	7.2
23	6.3	5.9	6.0	6.4	6.0	6.1	7.3	7.4	7.2
26	6.3	6.0	6.0	6.4	5.9	6.2	7.3	7.4	7.1
27	6.3	6.0	6.1	6.4	6.0	6.1	7.2	7.3	7.1
28	6.3	6.0	6.1	6.4	6.1	6.1	7.1	7.2	7.0

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

- R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L
 R16 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L
 R17 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L
 R18 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

Tabel C.10 Hasil Pengukuran Suhu Limbah Fenol Buatan

Hari ke	Suhu								
	R7	R8	R9	R16	R17	R18	R10	R11	R12
0	28.7	28.5	28.6	28.6	28.7	28.6	28.5	28.4	28.5
1	28.5	28.5	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4	28.3	28.4
2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2
5	28.4	28.5	28.6	28.5	28.4	28.5	28.4	28.5	28.5
6	27.8	28.6	27.9	27.9	27.9	27.8	27.8	27.8	27.8
7	28.1	27.8	27.8	28	28.1	28.1	28.2	28.3	28.3
8	28.6	28.1	28.6	28.6	28.6	28.5	28.5	28.5	28.5
9	28	28	28	28	28	27.9	27.9	27.9	27.9
12	28.8	28.7	28.8	28.6	28.7	28.6	28.3	28.2	28.4
13	29.2	29.3	29.2	29.4	29.3	29.3	28.9	29	29
14	28.7	28.9	28.7	28.5	28.7	28.7	28.3	28.2	28.2
15	29.4	29.3	29.4	29.3	29.4	29.5	29	29.1	29.1
16	29.3	29.2	29.4	29.2	29.2	29.2	29	29	29.1

Lanjutan Tabel C.10

19	29.1	29.1	29.2	29.2	29.1	29.1	29	28.9	28.9
20	28.8	28.8	28.9	29	28.8	28.9	28.4	28.3	28.3
21	30.2	30.2	30.1	30.2	30.2	30.2	29.9	29.9	29.8
22	29.7	29.8	29.7	29.6	29.8	29.7	29.5	29.4	29.4
23	29.2	29.2	29.1	29.2	29.2	29.3	29	28.9	29
26	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.8	29.4	29.3	29.4
27	29	29.1	29.2	29.2	29.1	29.2	28.9	28.9	28.8
28	29.6	29.5	29.6	29.6	29.6	29.7	29.1	29.2	29.1

Keterangan :

R7 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R8 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R9 : Reaktor uji limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R10 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R11 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R12 : Reaktor kontrol (tanpa tanaman) limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

R16 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 6,41 mg/L

R17 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 4,27 mg/L

R18 : Reaktor uji duplo limbah fenol buatan konsentrasi 2,56 mg/L

III. Data Penelitian Reaktor Kontrol (tanpa limbah)

Tabel C.11 Hasil Perhitungan Nilai COD Pada Reaktor Kontrol

Reaktor	Hari Pengamatan						
	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD (mg/L)
	0	6	12	15	18	24	30
Kontrol	120	109.2	80	71.2	63.7	61.8	58.8

Tabel C.12 Hasil Pengukuran pH dan Suhu

Hari	pH	Suhu (°C)
0	7.5	28.6
1	7.5	28.4
2	7.6	28.2
5	7.4	28.5
6	7.3	28.0
7	6.0	28.3
8	7.2	28.5
9	7.2	28.0
12	7.2	28.4
13	7.3	29.3
14	7.3	28.5
15	7.3	29.4
16	7.3	29.2
19	7.4	29.0
20	7.4	29.0
21	7.5	30.0
22	7.5	29.8
23	7.6	29.5
26	7.6	29.8
27	7.7	29.1
28	7.7	29.4

IV. Data Penelitian Tambahan Fenol Buatan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh evaporasi dalam menurunkan limbah fenol. Berikut data hasil penelitian :

Tabel C.13 Hasil Perhitungan Konsentrasi Fenol

Hari ke	Absorban	Konsentrasi (mg/L)
0	-	6.41
2	0.756	5.163
	0.769	5.252
4	0.475	3.249
	0.485	3.317
6	0.236	1.621
	0.246	1.689

Keterangan :

- Penelitian dilakukan dengan duplo analisa
- Konsentrasi dihitung dengan regresi linier kurva kalibrasi IV





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.TI ITS Sby
 Sample Name : Limbah Keramik
 Test : Phenol-COD
 Sample Brand :
 Sample Identity : Cairan keoklatan
 Sample Accepted : 20 Feb.2007

Chemical laboratory test result is

1. Phenol , mg/l : 394,60
 2. C O D , mg/l : 686,50



(Drs. M. Fatoni, MS)

LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN



(a) Reaktor Uji 1



(b) Reaktor Uji 2

Gambar D.1 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 6,41 mg/l Pada Hari ke-0



(a) Reaktor Uji 1



(b) Reaktor Uji 2

Gambar D.2 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 4,27 mg/l Pada Hari ke-0



(a) Reaktor Uji 1

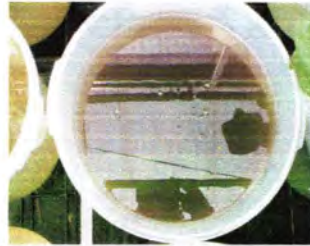


(b) Reaktor Uji 2

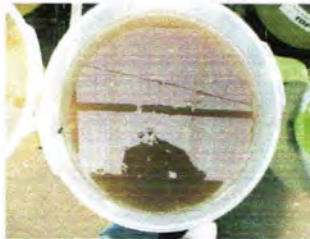
Gambar D.3 Reaktor Penelitian Limbah *Phenolic Water* Konsentrasi 2,56 mg/l Pada Hari ke-0



(a) Konsentrasi 6,41 mg/l



(b) Konsentrasi 4,27 mg/l



(c) Konsentrasi 2,56 mg/l

Gambar D.4 Reaktor Kontrol Limbah *Phenolic Water* Pada Hari ke-0



(a) Reaktor Uji 1



(b) Reaktor Uji 2

Gambar D.5 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/l Pada Hari ke-0



a) Reaktor Uji 1



(b) Reaktor Uji 2

Gambar D.6 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 4,27 mg/l Pada Hari ke-0

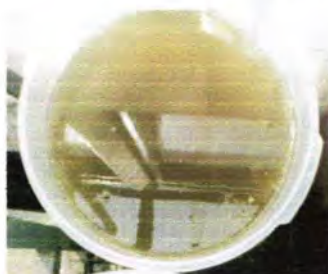


a) Reaktor Uji 1

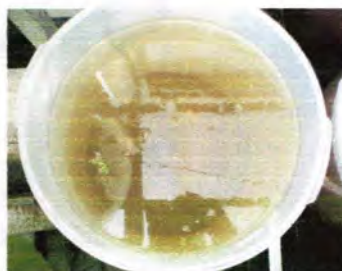


(b) Reaktor Uji 2

Gambar D.7 Reaktor Penelitian Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/l Pada Hari ke-0



(a) Konsentrasi 6,41 mg/l



(b) Konsentrasi 4,27 mg/l

Gambar D.8 Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 6,41 mg/l dan 4,27 mg/L Pada Hari ke-0



(c) Konsentrasi 2,56 mg/l

Gambar D.9 Reaktor Kontrol Limbah Fenol Buatan Konsentrasi 2,56 mg/L Pada Hari ke-0



a) Reaktor Uji 1



(b) Reaktor Uji 2



(c) Raktor Uji 3

Gambar D.10 Reaktor Kontrol (Tanpa Limbah) Pada Hari ke-0



Gambar D.11 Refluks COD



LAMPIRAN E

LAMPIRAN E ANALISIS STATISTIK

Untuk menguji signifikansi dari data yang diperoleh akan dilakukan suatu uji statistik. Dalam uji statistik ini akan digunakan program komputer minitab. Dengan uji statistik semua perbedaan pada mean sampel akan diuji secara signifikan berbeda atau tidak. Dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 : tidak terdapat perbedaan mengenai rata-rata efek tiap perlakuan

H_1 : terdapat perbedaan mengenai rata-rata efek tiap perlakuan

Hipotesis H_0 akan terjadi jika $P >$ taraf signifikan yang dipilih. Dimana : P = probabilitas menolak H_0 yang benar.

I. Uji Statistik Penurunan Fenol

E.1 Uji Statistik

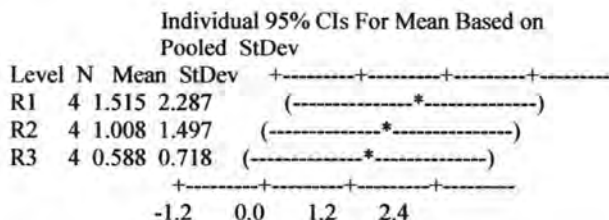
Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Fenol
Limbah *Phenolic Water*

Hari	Konsentrasi fenol (mg/l)		
	6.41	4.27	2.56
6	4.88	3.22	1.63
12	1.02	0.625	0.48
15	0.09	0.085	0.185
18	0.07	0.085	0.045

One-way ANOVA: R1, R2, R3

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1.73	0.86	0.32	0.731
Error	9	23.95	2.66		
Total	11	25.68			

S = 1.631 R-Sq = 6.72% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 1.631

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.731

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada sistem bioreaktor eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan fenol dalam limbah *phenolic water*.

Tabel E.2 Uji Statistik

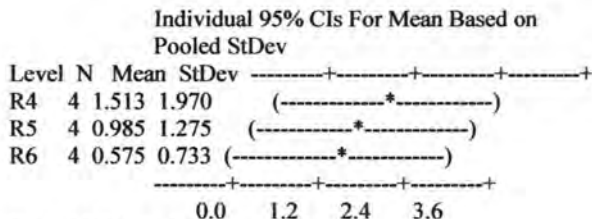
Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Fenol Limbah *Phenolic Water*

Hari	Konsentrasi fenol (mg/l)		
	6.41	4.27	2.56
6	4.25	2.79	1.58
12	1.65	0.98	0.66
15	0.05	0.09	0.06
18	0.10	0.08	0.00

One-way ANOVA: R4, R5, R6

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1.77	0.88	0.44	0.658
Error	9	18.14	2.02		
Total	11	19.91			

S = 1.420 R-Sq = 8.88% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 1.420

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.658

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada reaktor tanpa eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan fenol dalam limbah *phenolic water*.

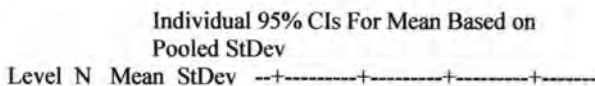
Tabel E.3 Uji Statistik
Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng
Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Fenol
Limbah Fenol Buatan

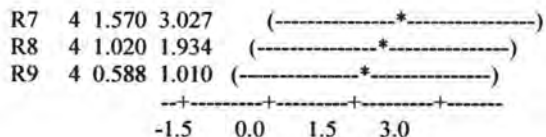
Hari	Konsentrasi fenol (mg/l)		
	6.41	4.27	2.56
6	6.11	3.92	2.10
12	0.10	0.10	0.17
15	0.04	0.02	0.04
18	0.03	0.04	0.04

One-way ANOVA: R7, R8, R9

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1.94	0.97	0.21	0.815
Error	9	41.76	4.64		
Total	11	43.70			

S = 2.154 R-Sq = 4.44% R-Sq(adj) = 0.00%





Pooled StDev = 2.154

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.815

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada sistem bioreaktor eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan fenol dalam limbah fenol buatan.

Tabel E.4 Uji Statistik
 Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa
 Eceng Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Fenol
 Limbah Fenol Buatan

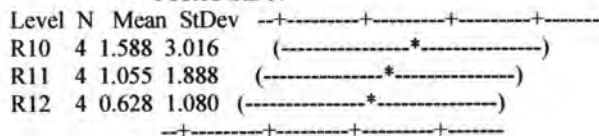
Hari	Konsentrasi fenol (mg/l)		
	6.41	4.27	2.56
6	6.11	3.88	2.24
12	0.19	0.30	0.23
15	0.05	0.04	0.06
18	0.00	0.00	-0.02

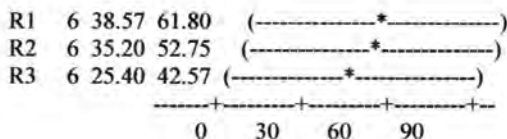
One-way ANOVA: R10, R11, R12

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1.85	0.93	0.20	0.822
Error	9	41.48	4.61		
Total	11	43.33			

S = 2.147 R-Sq = 4.27% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on
 Pooled StDev





Pooled StDev = 52.96

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.905

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada sistem bioreaktor eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan COD dalam limbah *phenolic water*.

Tabel E.6 Uji Statistik

Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Limbah *Phenolic Water*

Hari	Konsentrasi COD (mg/l)		
	R4	R5	R6
6	83.40	58.00	16.20
12	36.60	22.00	23.80
15	22.00	17.60	15.40
18	50.60	15.00	15.40
24	45.00	24.40	8.26
30	4.00	14.80	22.54

Keterangan :

R4 = Reaktor dengan konsentrasi 6,41 mg/l

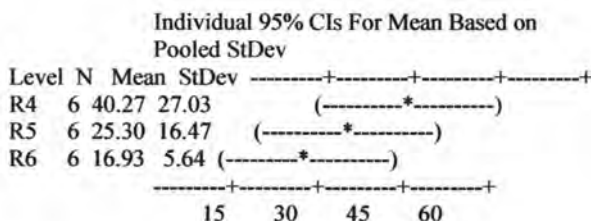
R5 = Reaktor dengan konsentrasi 4,27 mg/l

R6 = Reaktor dengan konsentrasi 2,56 mg/l

One-way ANOVA: R4, R5, R6

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1677	838	2.43	0.122
Error	15	5168	345		
Total	17	6845			

S = 18.56 R-Sq = 24.50% R-Sq(adj) = 14.43%



Pooled StDev = 18.56

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.112

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada reaktor tanpa eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan COD dalam limbah *phenolic water*.

Tabel E.7 Uji Statistik
Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Bioreaktor Eceng
Gondok Terhadap Penurunan COD Limbah Fenol Buatan

Hari	Konsentrasi COD (mg/l)		
	R7	R8	R9
6	69.90	49.90	39.00
12	10.10	20.10	16.00
15	18.80	17.70	12.70
18	8.41	8.61	12.25
24	12.32	22.79	9.88
30	21.07	1.50	5.87

Keterangan :

R7 = Reaktor dengan konsentrasi 6,41 mg/l

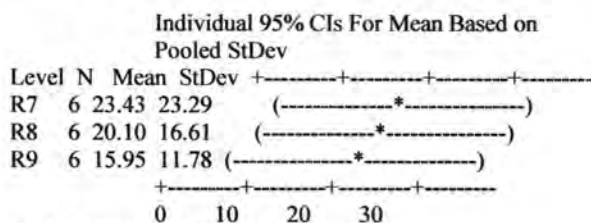
R8 = Reaktor dengan konsentrasi 4,27 mg/l

R9 = Reaktor dengan konsentrasi 2,56 mg/l

One-way ANOVA: R7, R8, R9

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	169	84	0.26	0.771
Error	15	4786	319		
Total	17	4955			

S = 17.86 R-Sq = 3.40% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 17.86

Tingkat Signifikan = 0.05

P = 0.771

$P > 0.05$ (Gagal tolak H_0) → Variasi konsentrasi fenol awal yang ditambahkan pada sistem bioreaktor eceng gondok tidak mempengaruhi penurunan COD dalam limbah fenol buatan.

Tabel E.8 Uji Statistik

Pengaruh Variasi Konsentrasi Fenol Awal Pada Reaktor Tanpa Eceng Gondok Terhadap Penurunan COD Limbah Fenol Buatan

Hari	Konsentrasi COD (mg/l)		
	R10	R11	R12
6	52.60	32.60	49.00
12	27.40	47.40	11.00
15	11.00	8.80	13.25
18	16.20	7.50	7.60
24	21.30	12.20	17.95
30	12.30	12.30	2.00

Keterangan :

R10 = Reaktor dengan konsentrasi 6,41 mg/l

R11 = Reaktor dengan konsentrasi 4,27 mg/l

R12 = Reaktor dengan konsentrasi 2,56 mg/l

One-way ANOVA: R10, R11, R12

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	133	67	0.26	0.777
Error	15	3901	260		

BIODATA PENULIS



Fatin Hamamah, lahir di kota Gresik–Jawa Timur pada 10 Desember 1984. Penulis merupakan anak keenam dari 6 bersaudara. Penulis memiliki hobi membaca dan bernyanyi serta memiliki ketertarikan pada hal-hal yang berhubungan dengan lingkungan. Penulis memulai pendidikan di TK Muslimat 29 Mahkota Gresik kemudian melanjutkan di MI Salafiyah Bedilan Gresik. Setelah itu menamatkan sekolah

menengah pertama di SLTP Muallimat Gresik. Selepas itu, pendidikan dilanjutkan di SMUN 1 Gresik. Setelah lulus SMU pada tahun 2003, karena ketertarikannya pada bidang lingkungan, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya. Selain mengikuti proses perkuliahan, penulis mengisi waktunya dengan menjadi asisten laboratorium Mikrobiologi. Setelah lulus dari kuliah S1, penulis berencana mengembangkan lagi kemampuannya di bidang teknik lingkungan, bahasa asing dan memasak.



Email penulis : fatin_101284@yahoo.com