

# SKRIPSI

## PEMANFAATAN KAYU APU (*PISTIA STRATIOTES*) DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI COD DAN WARNA PADA LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL "X"

Oleh :

**RENIANTI GALLA**

**02.26.031**



MILIK  
PERPUSTAKAAN  
ITN MALANG

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2008**

1950

REPUBLIC OF INDONESIA  
MINISTRY OF THE ARMY  
OFFICE OF THE MILITARY ATTACHE  
JAKARTA

RECEIVED  
MILITARY ATTACHE  
JAKARTA  
1950

1950  
MILITARY ATTACHE  
OFFICE

REPUBLIC OF INDONESIA  
MINISTRY OF THE ARMY  
OFFICE OF THE MILITARY ATTACHE  
JAKARTA

1950

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PEMANFAATAN KAYU APU (*PISTIA STRATIOTES*) DALAM  
MENURUNKAN KONSENTRASI COD DAN WARNA PADA LIMBAH  
INDUSTRI TEKSTIL "X"**



**OLEH:  
RENIANTI GALLA  
02.26.031**

**Menyetujui:  
Tim Pembimbing**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Sudiro, ST. MT  
NIP.Y. 1039900327**

**Candra Dwiratna, ST. MT  
NIP.P. 1030000349**

**Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Lingkungan**

**Sudiro, ST. MT  
NIP.Y. 1039900327**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PEMANFAATAN KAYU APU (*PISTIA STRATIOTES*) DALAM  
MENURUNKAN KONSENTRASI COD DAN WARNA PADA LIMBAH  
INDUSTRI TEKSTIL "X"**

**OLEH:**  
**RENIANTI GALLA**  
**02.26.031**

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian komprehensif Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 23 September 2008.

**Menyetujui**  
**Panitia Ujian Komprehensif Skripsi**



**Ketua**

**Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP**  
**NIP.Y. 103900214**

**Sekretaris**

**Sudiro, ST. MT**  
**NIP.Y. 1039900327**

**Dewan Penguji**

**Dosen Penguji I**

**Evy Hendriarianti, ST. MMT**  
**NIP. P. 1030300382**

**Dosen Penguji II**

**Hardianto, ST. MT**  
**NIP.P. 1030000350**

## PERSEMBAHAN

SKRIPSI INI KU PERSEMBAHKAN BUAT :

**TUHAN YESUS KRISTUS :**

TERIMA KASIHKU....KEPADA YESUS KRISTUS TUHAN DAN JURUSELAMATKU, YG MENOPANGKU, SLALU MEMBERIKAN JLN KELUAR DISETIAP PERMASALAHAN YG AKU HADAPI DAN SLALU ADA DI DLM SETIAP MASALAH YG TERJADI UNTUK MEMBERIKAN SOLUSI YG TERBAIK N TERINDAH KEPADAKU.

APA YANG TIDAK PERNAH DILIHAT OLEH MATA, DAN TIDAK PERNAH DIDENGAR OLEH TELINGA, DAN YANG TIDAK PERNAH TIMBUL DI DALAM HATI MANUSIA : SEMUA YANG DISEDIAKAN ALLAH UNTUK MEREKA YANG MENGASIHI DIA ( 1 KOR 2 : 9)

**BUAT BAPAKKU DAN MAMAKU :**

**BAPAK TUANG GALLA DAN MAMA RAMBU DULU MOSA :**

TERIMA KASIH BUAT DOA, CINTA N KASIH SAYANG YANG TAK TERKIRA YG SLALU KLIAN BERIKAN BUAT RENI SLAMA INI, AKU TDK AKAN MELUPAKAN ITU SEMUA SEUMUR HIDUPKU, AKU AKAN BERUSAHA MELAKUKAN YG TERBAIK BUAT KALIAN, AKU TIDAK BISA MEMBALAS SMUA KEBAIKAN KALIAN, TAPI SATU HAL YG MAU RENI KATAKAN : KETIKA RENI MELIHAT KALIAN TERSENYUM, MAKA ITU ADALAH KEBAHAGIAN YANG TAK TERHINGGA YG PERNAH RENI MILIKI DAN AKAN SLALU TERKENANG DIDALAM HIDUP RENI SLAMANYA. MAAF KLAU RENI SLALU MEREPOTKAN BAPAK DAN MAMA...,BAPAK...MAMA...TERIMAKASIH YA...BUAT SMUANYA.... SMOGA KLUARGA KITA SLALU DALAM LINDUNGAN DAN NAUNGAN TUHAN YESUS KRISTUS JURUSELAMAT DAN PENEBUS KITA SMUA.. AMIN.

**BUAT SAUDARA-SAUDARIKU :**

**KAK YANA : WALAUPUN KITA BERDUA TDK PERNAH COCOK TAPI AKU TAU KAK MENYAYANGIKU, KAK MAKASIH YA BUAT SMUA DOA DAN DUKUNGANNYA.,BUAT KAK ANTON :MAKASIH JG BUAT DOA, DUKUNGAN DAN NASIHAT YG SLALU KAK BERIKAN BUAT RENI., BUAT KAK NIKO, NONA, SERTA CLARA DAN GENI : MAKASIH YA...SDH MENJAGA BAPAK DAN MAMA SLAMA KAMI DILUAR., BUAT ADEK KU INCE, FERI DAN GREACE: MAAF KLAU SLAMA INI K'RENI SLALU KASAR SM KLIAN, K'RENI MENGASIHI N MENYAYANGI KLIAN SMUA.**

**BUAT BAPAK DANIEL N KELUARGA :**

MAKASIH BUAT SMUA DOA, CINTA DAN DUKUNGAN YANG KALIAN SLALU BERIKAN  
UNTUK RENI.,N BUAT NENEK PODU : MAKASIH UDA MERAWAT RENI DARI KECIL, MAAF  
RENI SRG BUAT NENEK MARAH, RENI SAYANG SM NENEK PODU., TGG RENI PLG...JGN  
PERGI DULU.

**BUAT TEMAN2KU :**

K'HERMA: MAKASIH KAK BUAT DOA N NASIHAT KAK SLAMA INI BUAT RENI, Q AKAN  
MERINDUKAN KAKAK., K'EVEL: MAKASIH BANYAK KAK UDA BANTU RENI MAAF SRG  
MEREPOTKAN K'EVEL., CIA: MAKASIH YA...UDA MENJADI TEMANQ YG SLALU  
MENDUKUNGO N MEMBRIKAN NSIHAT BUAT RENI, Q PASTI SLALU INGAT KM., ROFFI: YG  
SMAGAT MAS MENGEJAR CINTA SEJATI..HEHE., K'TIMO: TTP SMGAT KAK NGERJAIN  
REVISIANNYA., TEMAN2 SEPERJUANGAN: K'EVEL, K'EKA, K'NINI, JUN, TEGUH,  
AGUNG, TINK N SMUA YG BLM KU SEBUTKAN AKHIRNYA KITA LLS JG YA..BUAT  
TEMAN2KU ANG'02 YG BLM LLS TTP SMGAT YA...(RENI AKAN MERINDUKAN KLIAN  
SMUA)..BUAT YANTI KRITING : YANG SMANGAT YA..KERJAIN SKRIPSINYA..BUAT K'PAY  
01 : MAKASIH KAK UDA NGANTAR RENI KE JASA TIRTA.

**BUAT BW 25 :**

P'GATOT N M'YU: MAKASIH BYK KRN UDA JG RENI SLAMA D MLG. ADEK2Q WNA (WARGA  
NEGARA ATAS..HEHE) FEBRI: MAKASIH YA NON ATAS DOAMU N UDA MENDGR KELUH  
KESAHQ SLAMA NI., AYU: MAKASIH DEK UDA BYK BANTU K'RENI N MAU MENDENGAR  
CURHAT KAKAK., ADEK2Q WNB (WARGA NEGARA BAWAH) AYU S'JRAH : MAKSIH ATAS  
DOANYA, AKHIRNYA KITA LLS BRENG JG NON., BUAT INA: BAIK2 YA..SM ADEK SANDI  
HEHE., SARI :MAKASIH NON BUAT DOA N DUKUNGANNYA, YG BAIK2 SM MAS FARID YA.,,  
IKUN N UCI :JGN SRG KELAHI, SLING MENASIHATI SATU DGN YG LAIN, KLIAN HRS  
BELAJAR MANDIRI N SLING MENDUKUN<sup>6</sup>YA...N JGN BUAT ORG TUA KLIAN KECEWA.,  
BUAT M'YUNI : KPN NIKAH MBA..?MUMPUNG RENI MASI D MLG HEHE..BUAT ANAK2 BW  
25 YG BLM D SEBUTKAN MAKASIH YA..UNTUK SMUANYA.

BUAT SMUA YG UDA BANTU RENI YG BLM KUSEBUTKAN NAMANYA : MAKASIH BYK  
YA...ATAS SMUA BANTUANNYA SLAMA INI

JIKA ENKKAU MENCINTAI DIRIMU, JGNLAH ENKKAU MEMBERIKANNYA WAKTU UNTUK  
MELAKUKAN KEJAHATAN DAN LAKUKANLAH PEKERJAAN YANG SESUAI DENGAN KATA  
HATIMU

---

---

Galla, Renianti,. Sudiro., Dwiratna, C., 2008. *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dalam Menurunkan Konsentrasi COD Dan Warna Pada Limbah Industri Tekstil "X"*. Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang.

---

---

### ABSTRAK

Air limbah industri merupakan salah satu sumber pencemar yang dapat merusak lingkungan dan kualitas air sungai yang digunakan sebagai sumber air baku. Limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil memiliki konsentrasi COD dan Warna yang cukup tinggi. Air limbah yang akan di buang harus memenuhi standar baku mutu limbah cair industri yang ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengolahan yang murah dan mudah pengoperasiannya, salah satunya adalah dengan menggunakan tumbuhan air. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar COD dan Warna pada limbah cair industri tekstil dengan memanfaatkan tumbuhan air kayu apu (*Pistia Stratiotes*) sebagai tumbuhan uji.

Penelitian ini menggunakan reaktor kontinyu. Dimana pada penelitian ini, meliputi variasi waktu detensi dan kerapatan tumbuhan kayu apu. Variasi waktu detensi yang dipilih yaitu 2 hari, 4 hari dan 6 hari, variasi kerapatan tumbuhan kayu apu yang digunakan adalah 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/cm<sup>2</sup>, dan 50 mg/cm<sup>2</sup>.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi COD tertinggi sebesar 88,06% terjadi pada kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>. dan persentase penurunan konsentrasi warna tertinggi sebesar 94,09% terjadi pada kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pertumbuhan tanaman terbesar terjadi pada tumbuhan kayu apu dengan kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 0,30 cm.

**Kata kunci : COD, Kayu Apu, Limbah Cair Industri Tekstil "X", Warna.**

---

---

Galla, Renianti., Sudiro., Dwiratna, C., 2008. *The Using of Kayu Apu (Pistia Stratiotes) for Decreasing COD and Color Concentrate Textile Industry "X" Wastewater.* Environmental Engineering Specialty. Malang National Technological Institute.

---

---

### ABSTRACT

Industrial waste water is one of pollution sources which can pollute environment and decrease the quality of river water which in used as sources of drinking. Industry textile wastewater COD and color concentrate of industry textile wastewater is quite high. Waste water that will disposed have to fit the wastewater quality standard. There fire, it needs treatment easy handling operation and less expensive process, one kinds of that treatment is using aquatic plant.

Research to reducing the content of COD and colors in liquid waste of textile industry by using aquatic plant Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*).

Continuous reactor comes into consideration. This research includes time variation of detention and the density of kayu apu plant. Time variation of detention selected entails 2 days, 4 days and 6 days. The density variation of kayu apu that is used are 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/cm<sup>2</sup>, and 50 mg/cm<sup>2</sup>.

Result of research indicate that the highest of COD concentration percentage accounts to 88,06% in 50 mg/cm<sup>2</sup>. The highest of colors concentration percentage accounts for 94,09% in 50 mg/cm<sup>2</sup>. The greatest plant growth emanates from Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) in 30 mg/cm<sup>2</sup> density, exactly attained to 0,30 cm.

**Key word : COD, Kayu Apu, Liquid Waste of Textile Industry "X", Colors.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan anugerah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“Pemanfaatan Kayu apu (Pistia Stratiotes) Dalam Menurunkan Konsentrasi COD dan Warna Limbah Industri Tekstil ‘X’*”**, ini tepat pada waktunya.

Skripsi ini disusun setelah melalui penelitian, analisa data dan pembahasan dari data yang telah diperoleh dari penelitian. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak. Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro, ST. MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang, dan selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
2. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT selaku dosen pembimbing dan selaku Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan ITN Malang yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
3. Ibu Evi Hendrianti, ST. MMT selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
4. Bapak Hardianto, ST. MT selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
5. Bapak DR. Ir. Hery Setyobudiarso, Msi yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini
6. Ibu Anis Artiyani, ST selaku sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang, dan selaku dosen wali.
7. Ibu Tuani Lidiawati, ST. MT yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
8. Dosen-dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
9. Teman-temanku Teknik Lingkungan khususnya Angkatan '02 yang telah banyak membantu mulai dari awal sampai selesainya laporan skripsi ini..

10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan atas laporan ini, membuat penyusun berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang kami susun.

Akhirnya penyusun berharap Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang dan masyarakat luas pada umumnya.

Malang, Oktober 2008

Penyusun

## DAFTAR ISI

### LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAKSI.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Llingkup.....	2

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah Tekstil.....	4
2.2. Proses Produksi Industri Tekstil.....	5
2.2.1. Proses Pemintalan.....	6
2.2.2. Proses Persiapan Pertenunan dan Perajutan.....	7
2.2.2.1. . Proses Pertenunan.....	8
2.2.2.2. Proses Perajutan.....	9
2.2.3. Pencelupan dan Penyempurnaan.....	9
2.2.3.1. Teknologi Pencelupan.....	10
2.2.3.1.1. Pencelupan dengan Zat Warna Reaktif.....	15
2.2.3.2. Karakteristik Limbah Industri Penyempurnaan.....	16
2.3. Parameter COD dan Warna.....	18
2.3.1. COD (Chemical Oxigen Demand).....	18
2.3.2. Warna.....	19
2.4. Jenis-jenis Tumbuhan Air.....	20
2.4.1. Kayu Apu ( <i>Pistia Stratiotes</i> ).....	21
2.4.2. Perkembangbiakan Kayu Apu.....	23
2.4.3. Pemanfaatan Kayu Apu.....	23

2.5. Kebutuhan Unsur Hara.....	23
2.5.1. Unsur Hara Yang Dibutuhkan.....	23
2.5.2. Fotosintesis.....	24
2.5.3. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air.....	26
2.6. Mekanisme Penyerapan Kandungan Bahan Organik Dengan Tumbuhan Air.....	27
2.7. Analisa Pertumbuhan Tanaman.....	28
2.8. Metode Pengolahan Data.....	29
2.8.1. Statistik Deskriptif dan Inferensi.....	29
2.8.2. Analisa Data Statistik dalam Minitab.....	29
2.8.2.1. Analisa ANOVA.....	30
2.8.2.2. Analisa Korelasi.....	30
2.8.2.3. Analisa Regresi.....	31
2.8.3. Keunggulan Minitab.....	32

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Variabel Penelitian.....	34
3.1.1. Variabel Terikat.....	34
3.1.2. Variabel Bebas.....	34
3.2. Alat-alat Dan Bahan.....	34
3.2.1. Alat-Alat.....	34
3.2.2. Bahan.....	35
3.3. Penelitian Pendahuluan.....	35
3.3.1. Analisa Pendahuluan.....	35
3.3.2. Aklimatisasi.....	35
3.4. Analisa Penelitian.....	36
3.4.1. Penelitian Dengan Kerapatan Tanaman Uji.....	36
3.4.2. Analisa COD.....	36
3.4.3. Analisa Warna.....	36
3.4.4. Analisa Pertumbuhan Tanaman.....	37
3.4.5. Removal COD Dan Warna.....	37
3.5. Analisa Data.....	37

3.6. Kerangka Penelitian.....	39
-------------------------------	----

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil.....	40
4.2. Analisa Penurunan Konsentrasi COD (Chemical Oxygen Demand).....	40
4.2.1. Analisa Deskriptif.....	40
4.2.2. Analisa ANOVA.....	43
4.2.3. Analisa Korelasi.....	46
4.2.4. Analisa Regresi.....	48
4.3. Analisa Penurunan Konsentrasi Warna.....	51
4.3.1. Analisa Deskriptif.....	51
4.3.2. Analisa ANOVA.....	53
4.3.3. Analisa Korelasi.....	56
4.3.4. Analisa Regresi.....	58
4.4. Analisa Pertumbuhan Tanaman.....	61
4.4.1. Analisa Deskriptif.....	62
4.4.2. Analisa ANOVA.....	62
4.4.3. Analisa Korelasi.....	65
4.4.4. Analisa Regresi.....	67
4.5. Pembahasan.....	70
4.5.1. Aklimatisasi.....	70
4.5.2. Penurunan Konsentrasi COD.....	70
4.5.3. Penurunan Konsentrasi Warna.....	72
4.5.4. Hubungan COD dan Warna.....	74
4.5.3. Pertumbuhan Tanaman (Relative Growth Rate).....	74

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	77

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Tekstil.....	18
Tabel 4.1. Hasil Analisa Awal Air Limbah Industri Tekstil.....	40
Tabel 4.2. Konsentrasi COD Setelah Proses Pengolahan.....	41
Tabel 4.3. Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	42
Tabel 4.4. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	44
Tabel 4.5. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	45
Tabel 4.6 Korelasi Antara Waktu Detensi, Variasi Kerapatan dan Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	46
Tabel 4.7. Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	48
Tabel 4.8. Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD.....	48
Tabel 4.9. Konsentrasi Warna Setelah Proses Pengolahan.....	51
Tabel 4.10. Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	52
Tabel 4.11. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	54
Tabel 4.12. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	55
Tabel 4.13. Korelasi Antara Variasi Kerapatan Tumbuhan, Waktu Detensi Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	56
Tabel 4.14. Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	58
Tabel 4.15. Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Warna.....	58
Tabel 4.16. Nilai Pertumbuhan tanaman (Relative Growth Rate).....	61
Tabel 4.17. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Pertumbuhan Tanaman.....	63

<b>Tabel 4.18. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Pertumbuhan Tanaman.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabel 4.19. Korelasi Antara Variasi Kerapatan Tumbuhan, Waktu Detensi Dengan Pertumbuhan Tanaman.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabel 4.20. Koefisien Persamaan Regresi Pertumbuhan Tanaman.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabel 4.21. Hasil Uji Kelimieran Analisa Regresi Pertumbuhan Tanaman.....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Proses Produksi Tekstil (Evaluasi Tekstil. ITT Bandung 1975).....	6
Gambar 2.2. Kayu Apu ( <i>Pistia Stratiotes, L</i> ).....	22
Gambar 3.1. Kerangka Penelitian.....	39
Gambar 4.1. Grafik Penurunan Konsentrasi COD Akhir Pengolahan.....	41
Gambar 4.2. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi COD Terhadap Waktu Detensi.....	43
Gambar 4.3. Grafik Penurunan Konsentrasi Warna Akhir Pengolahan.....	52
Gambar 4.4. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Warna Terhadap Waktu Detensi.....	53
Gambar 4.5 Grafik Pertumbuhan Tanaman (Relative Growth Rate.....	62

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang baik, sesuai dengan standar tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah dari hasil kegiatan manusia, baik limbah dari kegiatan rumah tangga, limbah dari kegiatan industri dan kegiatan-kegiatan lainnya (Wardhana, 2001).

Penurunan ketersediaan air merupakan permasalahan yang sangat serius bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya, baik untuk masa sekarang dan masa yang akan datang, untuk itu ketersediaan air harus diperhatikan dalam segi kualitas, kuantitas maupun kontinuitasnya.

Air buangan industri merupakan salah satu sumber pencemar yang dapat merusak kualitas air sungai yang digunakan sebagai sumber air baku. Parameter utama yang dapat menunjukkan terjadinya pencemaran oleh air buangan industri tekstil adalah TSS, BOD, COD, pH, Krom Total, Fenol Total, Warna, Minyak, Lemak dan Kekeruhan. COD dan Warna merupakan salah satu parameter penting dalam limbah industri tekstil. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan agar memenuhi standar kualitas air buangan yang ada.

Cara yang umum dipakai untuk mengolah air buangan industri tekstil adalah dengan penambahan zat kimia, flokulasi, elektro – koagulasi, yang ada umumnya membutuhkan biaya operasi dan pemeliharaan yang cukup mahal. Pengolahan air limbah secara biologis dengan menggunakan tumbuhan air merupakan salah satu alternatif yang dapat dipakai sebagai usaha pemulihan kualitas lingkungan yang telah rusak dan yang telah tercemar, dengan biaya yang cukup murah dan mudah didalam pengoperasiannya.

Kayu apu (*Pistia Stratiotes, L.*) adalah jenis gulma air yang dapat ditemukan diperairan air tawar. Kayu apu digunakan sebagai media uji karena sifat pertumbuhannya yang sangat cepat dan mudah diperoleh. Dengan

kemampuan yang dimiliki oleh kayu apu khususnya akar yang mampu menyerap bahan pencemar dalam air limbah, diharapkan dapat meningkatkan kualitas air limbah yang mengandung COD dan Warna, dengan demikian akan membantu menurunkan biaya investasi operasi dan pemeliharaan yang diperlukan bagi instalasi pengolahan air limbah (Sari, 1999). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi BOD dan logam berat Cr dengan menggunakan tumbuhan kayu apu dalam mengolah limbah penyamakan kulit cukup baik (Irwan, 2005).

Pada penelitian ini digunakan kayu apu untuk mendapatkan cara yang mudah dan ekonomis yang bersifat ramah lingkungan untuk menurunkan konsentrasi COD dan Warna yang terkandung dalam air buangan industri tekstil.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Seberapa besar penurunan konsentrasi COD dan Warna pada limbah industri tekstil “X” dengan menggunakan kayu apu (*Pistia Stratiotes*)?
2. Seberapa besar kepadatan optimum kayu apu (*Pistia Stratiotes*) dalam menurunkan konsentrasi COD dan Warna pada limbah industri tekstil “X”?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui penurunan konsentrasi COD dan Warna pada limbah industri tekstil “X” dengan menggunakan kayu apu (*Pistia Stratiotes*).
2. Mengetahui kepadatan kayu apu (*Pistia Stratiotes*) yang optimum dalam menurunkan konsentrasi COD dan Warna pada limbah industri tekstil “X”.

## **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Parameter pokok yang di uji adalah COD dan Warna.
3. Sampel yang digunakan adalah sampel asli limbah industri tekstil “X”.

4. Dilakukan variasi terhadap kerapatan tumbuhan.
5. Waktu penelitian selama 6 hari dengan waktu pengambilan sampel 2 hari sekali.
6. Parameter penunjang yang diukur adalah pH, tempratur dan pengukuran pertumbuhan kayu apu (dengan melihat lebar kayu apu).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Air Limbah Tekstil**

Air limbah tekstil adalah air buangan yang berupa limbah cair hasil pencelupan dan penyempurnaan dari proses industri tekstil yang kaya akan bahan organik yang mempunyai potensi pencemaran yang cukup tinggi. Potensi pencemaran air limbah dari industri penyempurnaan tekstil sangat bervariasi tergantung dari proses yang dilakukan, kapasitas produksi, mesin yang digunakan dalam mengolah bahan bakunya dan kondisi lingkungan tempat pembuangan limbahnya, sehingga akibat pencemarannya pun berbeda-beda.

Limbah cair merupakan masalah utama dalam pengendalian dampak lingkungan industri tekstil karena memberikan dampak yang paling luas, disebabkan oleh karakteristik fisik maupun karakteristik kimianya yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Limbah cair terutama dihasilkan dari proses penyempurnaan tekstil. Limbah cair akan mengandung bahan-bahan yang dilepas dari serat, sisa bahan kimia yang ditambahkan pada proses penyempurnaan tersebut, serta serat yang terlepas dengan cara kimia atau mekanik selama proses produksi berlangsung. Parameter-parameter setiap jenis limbah tekstil adalah :

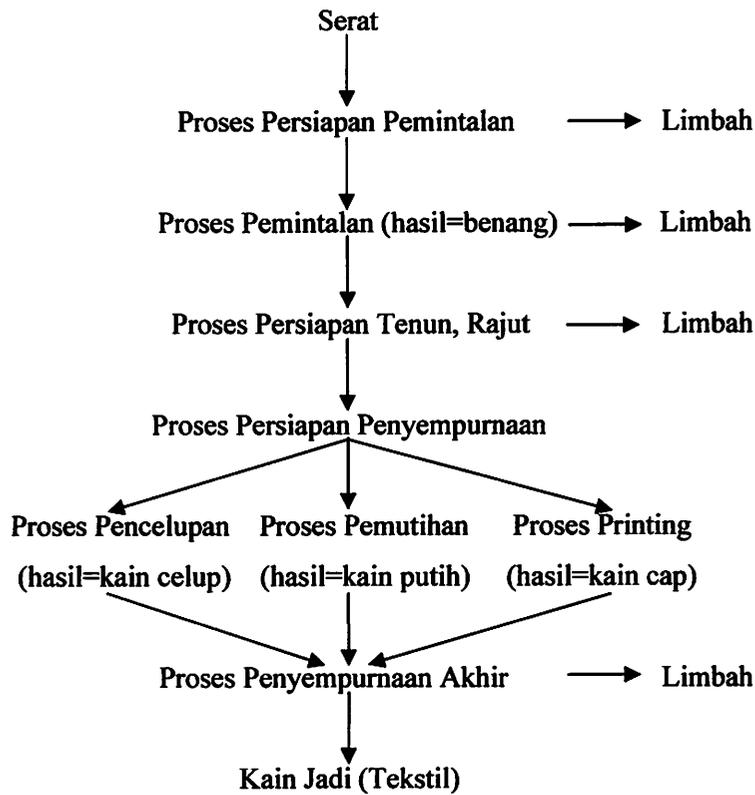
1. Parameter Kimia
  - a. BOD
  - b. COD
  - c. pH
  - d. Senyawa Anorganik
  - e. Senyawa Organik
2. Parameter Fisika
  - a. Padatan Total
  - b. Warna
  - c. Bau
  - d. Suhu
  - e. SS

Dari beberapa hal yang ditimbulkan tersebut diatas akan menyebabkan bau yang kurang sedap, sebagai akibat dari peruraian bahan-bahan organik secara alami dan dapat menyebabkan pencemaran dalam air apabila langsung di buang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu.

Industri tekstil pada umumnya banyak menggunakan air untuk proses maupun untuk pencucian bahan baku dan pewarnaan. Disamping limbah cair, juga dihasilkan limbah padat yang berasal dari serat, benang atau potongan kain (Djufri, 1976 dalam Prayitno, 2002).

## **2.2. Proses Produksi Industri Tekstil**

Industri tekstil diawali dari industri benang (pemintalan), industri pembuatan kain (pertenunan dan perajutan), industri penyempurnaan (finishing), hingga industri pakaian jadi (garment). Industri pembuatan serat lebih banyak merupakan suatu industri kimia organik yang masalahnya lebih banyak merupakan masalah dari suatu industri kimia organik. Secara skematis proses produksi tekstil tanpa proses garmen dimulai dari bahan baku serat hingga kain jadi. Proses persiapan yaitu persiapan pemintalan, persiapan pertenenan, perajutan dan persiapan penyempurnaan ditujukan untuk memperlancar jalannya proses produksi. Dari masing-masing proses diatas akan ditampilkan seperti pada gambar 2.1 :



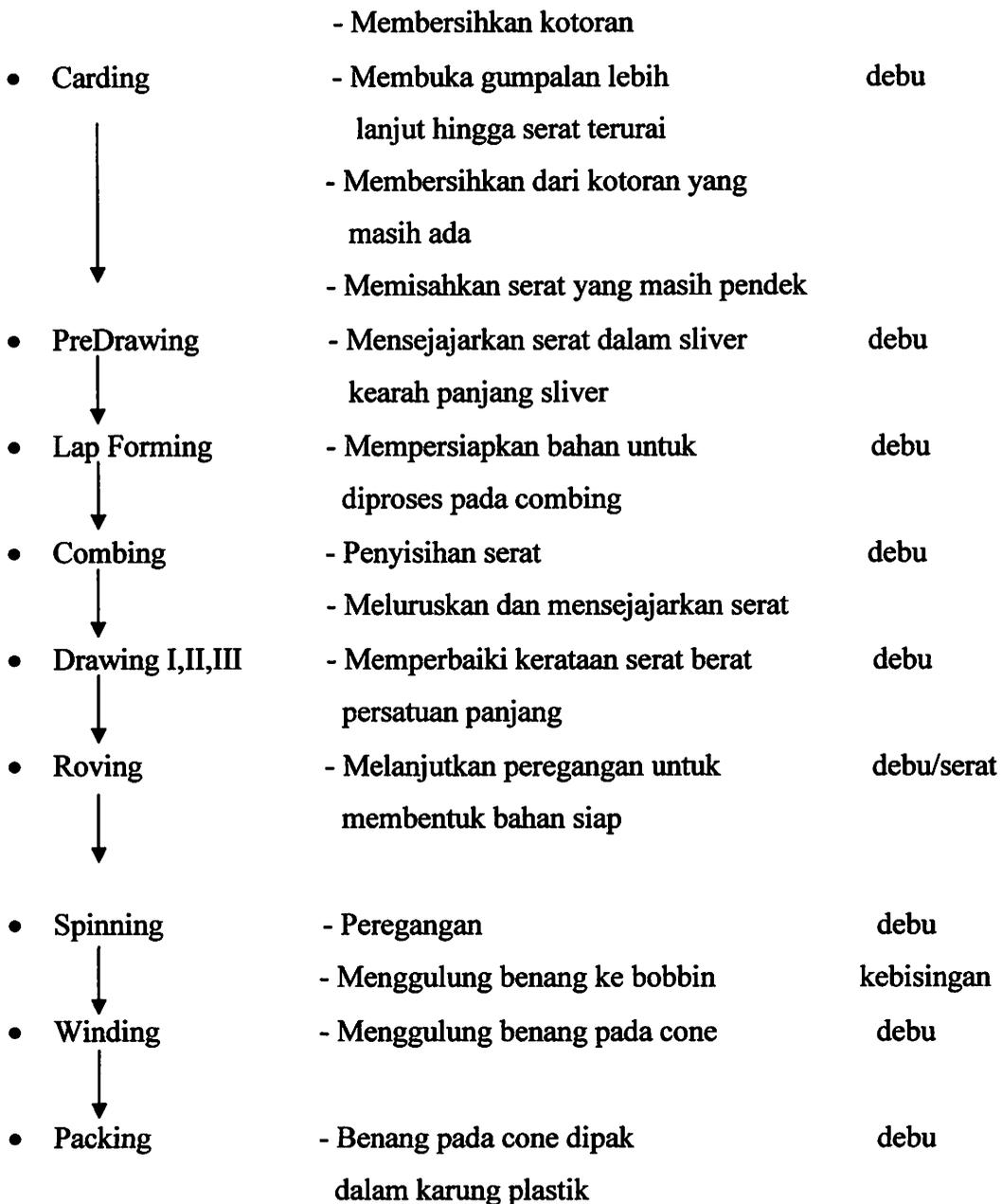
Gambar 2.1 Skema Proses Produksi Tekstil (Wibowo, 1975)

### 2.2.1. Proses Pemintalan

Tahap-tahap proses dalam proses pemintalan serat kapas dapat dilihat pada proses berikut ini. Tahap proses pemintalan pada serat polyester dan serat rayon (serat sintetis) lebih singkat dari pada serat kapas karena serat sintetis relatif telah lebih bersih dan rata.

Tahap-tahap proses pemintalan serat kapas, yaitu :

Tahap Proses	Fungsi	Limbah
<b>Kapas</b>		
• Step Cleaner	- Kapas dibersihkan dari kotoran dan biji	debu
↓		
• Mixing	- Mencampur serat	debu
↓		
• Blowing	- Mencampur lebih baik - Membuka gumpalan	debu
↓		



(Sumber : Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002)

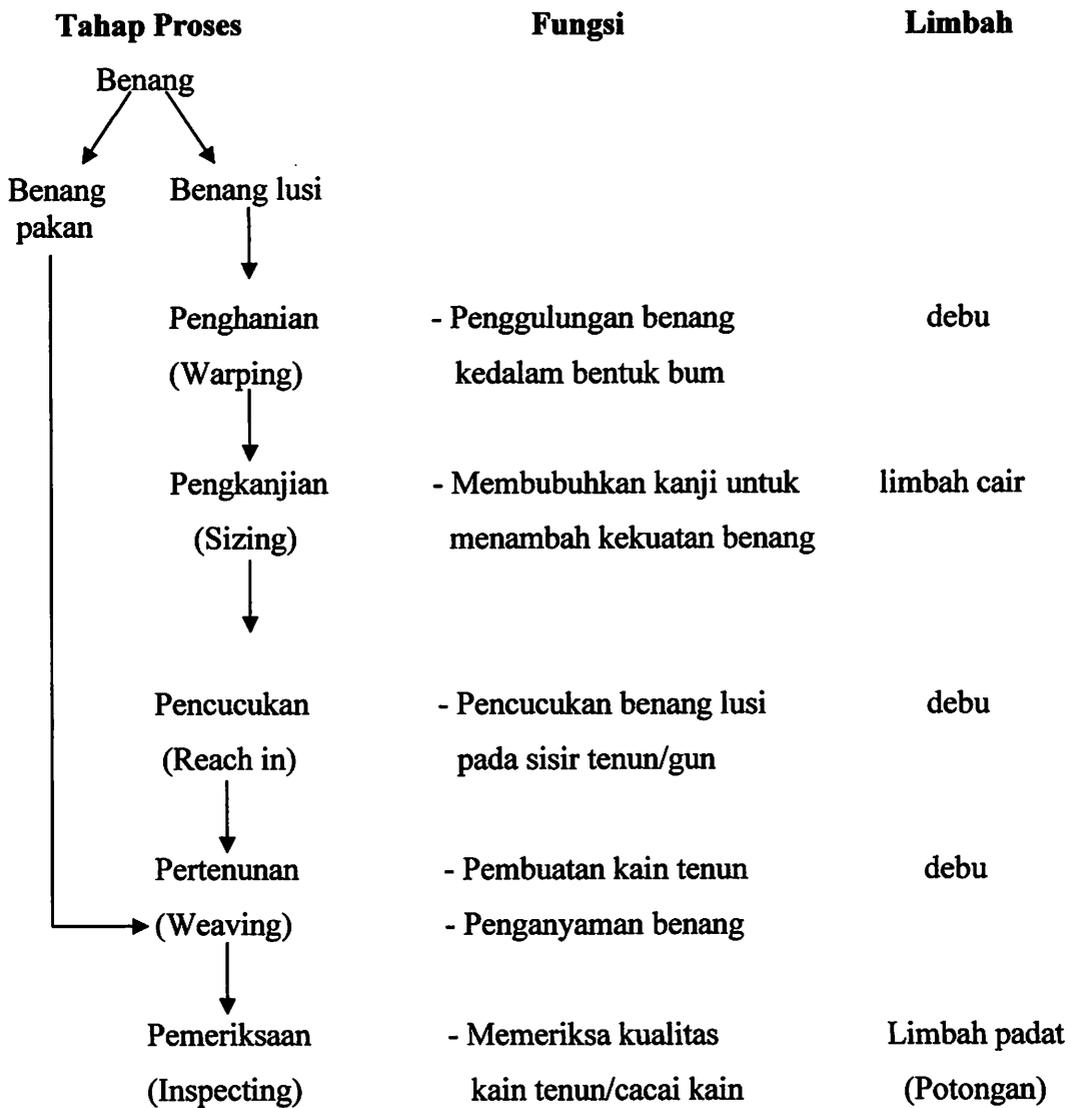
### 2.2.2. Proses Persiapan Pertenunan dan Perajutan

Tahap-tahap proses pertenunan dan perajutan dapat dilihat pada diagram dibawah ini. Pada proses pertenunan selain menghasilkan limbah debu, kebisingan, dan limbah padat yang berasal dari serat, benang atau potongan kain, juga menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses pengkanjian benang lisi yang biasanya mengandung kanji alam (tepung tapioka, jagung atau kentang), kanji

sintetik (polivinil, alkohol dan poliaklirat), pelemas (lemak/minyak) dan bahan pengisi (kaolin, garam mineral).

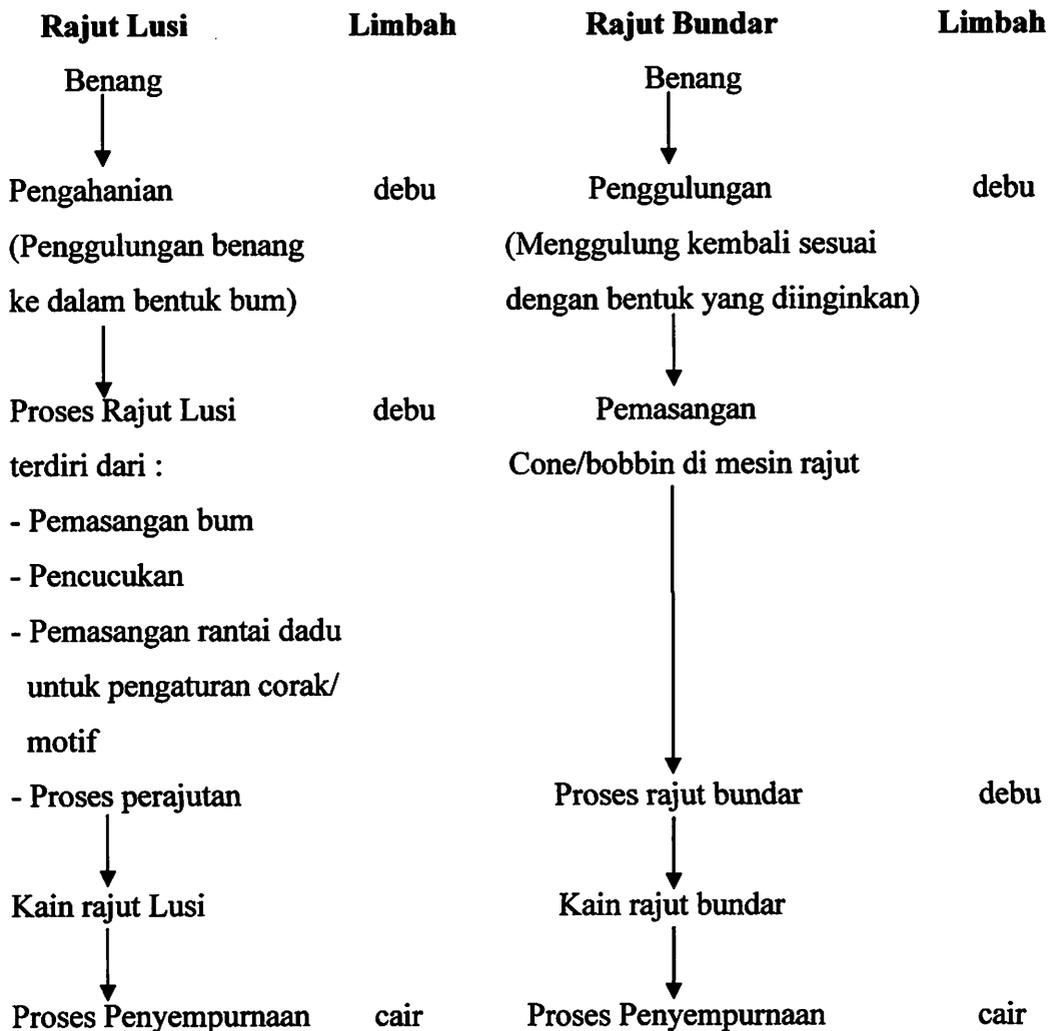
### 2.2.2.1. Proses Pertenunan

Tahap-tahap proses pertenunan, yaitu :



(Sumber : Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002)

### 2.2.2.2. Proses Perajutan



(Sumber : Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002)

### 2.2.3. Pencelupan Dan Penyempurnaan

Pencelupan dan penyempurnaan bertujuan meningkatkan nilai komersial dari kain. Nilai komersial ini menyangkut warna, pola dan mode serta nilai-nilai guna yang tergantung dari apakah produk akhir akan digunakan untuk pakaian, barang-barang rumah tangga atau penggunaan lainnya. Pencelupan adalah salah satu cara yang meningkatkan nilai penyempurnaan juga memberikan peningkatan nilai dengan menimbulkan bulu-bulu pada kain (*raising*), menghaluskan (*glazing*) dan dalam beberapa hal dengan membuatnya anti kusut, kedap air dan tolak air.

Pencelupan terdiri dari melarutkan atau mendispersikan zat warna dalam air atau medium lain, kemudian memasukkan bahan tekstil kedalam larutan

tersebut sehingga terjadi penyerapan zat warna ke dalam serat. Penyerapan zat warna ke dalam serat merupakan reaksi eksotermik dan reaksi keseimbangan. Beberapa zat pembantu misalnya garam, asam alkali atau lainnya ditambahkan ke dalam larutan celup dan kemudian pencelupan diteruskan hingga diperoleh warna yang dikehendaki (Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002).

### **2.2.3.1 Teknologi Pencelupan**

Tahap-tahap proses pencelupan, menurut (Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002), yaitu:

1. Difusi zat warna dalam larutan
2. Adsorpsi
3. Penetrasi atau difusi zat warna dari permukaan serat ke pusat

Dewasa ini dipergunakan bermacam-macam jenis zat warna bergantung pada jenis serat yang akan diwarnai, macam warna, tahan luntur yang diinginkan, faktor-faktor teknis dan ekonomis lainnya. Di dalam praktek zat warna tekstil tidak dapat digolongkan berdasarkan struktur kimianya, melainkan berdasarkan sifat-sifat pencelupan maupun penggunaannya.

Zat-zat warna tersebut dapat digolongkan sebagai berikut :

#### **1. Zat Warna Asam**

Zat warna asam merupakan garam natrium dari asam-asam organik misalnya asam sulfonat atau asam karboksilat. Zat warna ini dipergunakan dalam suasana asam dan memiliki daya tembus langsung terhadap serat-serat protein atau poliamida. Zat warna asam merupakan golongan zat warna yang larut dalam air. Faktor-faktor yang mempengaruhi zat warna asam yaitu pengaruh elektrolit dan suhu. Penggunaan zat warna ini tergantung golongannya, namun umumnya ditambah asam sulfat.

Sifat-sifat zat warna asam, yaitu :

- Merupakan zat warna yang larut dalam air.
- Ketahanan sinar dan cuci yang baik. Sifat ketahanan tersebut dipengaruhi oleh berat molekul dan konfigurasi.

## 2. Zat Warna Basa

Zat warna basa merupakan garam-garam klorida atau oksalat dari basa-basa organik, misalnya basa amonium, oksonium dan sering pula merupakan garam rangkap dengan seng klorida, biasanya disebut juga zat warna kation karena khromofor dari zat warna ini terdapat pada kationnya. Warna-warnanya cerah tapi tahan luntur, warnanya kurang baik. Zat warna ini mempunyai daya tembus langsung terhadap serat-serat protein. Zat warna basa tidak mempunyai afinitas terhadap selulosa, akan tetapi dengan pengerjaan pendahuluan memakai asam tanin, dapat juga mencelup serat selulosa. Zat warna basa termasuk golongan zat warna yang larut dalam air. Disebut pula sebagai zat warna kationik karena zat warna basa di dalam larutan celup akan terionisasi dan bagian yang berwarna bermuatan positif. Untuk memakai zat warna ini umumnya ditambahkan asam asetat.

Sifat-sifat zat warna basa, yaitu :

- Merupakan zat warna yang larut dalam air.
- Ketahanan sinar dan cucinya kurang baik.
- Warnanya cerah dan intensitas warnanya sangat tinggi.

## 3. Zat Warna Direk

Zat warna ini menyerupai zat warna asam yakni merupakan garam natrium dari asam sulfonat dan hampir seluruhnya merupakan senyawa-senyawa azo. Zat warna direk ini mempunyai daya tembus langsung terhadap serat-serat selulosa disebut juga warna substantif, tahan lunturnya kurang baik. Zat warna direk termasuk zat warna yang larut dalam air, juga tidak tahan terhadap oksidasi reduksi. Zat warna direk dibagi atas 3 golongan yaitu golongan A, B dan C. Faktor-faktor yang berpengaruh pada zat warna ini besarnya penambahan elektrolit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) maka warna semakin tua, pengaruh suhu, pengaruh perbandingan larutan dan pengaruh pH. Umumnya untuk penggunaan zat warna ini ditambahkan NaCl. Contoh zat warna direk antara lain : Congo Red (C.1. Direct Red 28) dan Diazo Brown (C.1. Direct Brown 138)

#### 4. Zat Warna Mordan dan Komplek Logam

Zat warna ini tidak mempunyai daya tembus terhadap serat-serat tekstil, tetapi dapat bersenyawa dengan oksida-oksida logam yang dipergunakan sebagai mordan, membentuk senyawa yang tidak larut dalam air, dipergunakan untuk mewarnai serat-serat wol atau poliamida seperti halnya zat warna asam tetapi memiliki tahan luntur yang baik. Zat warna kompleks logam merupakan perkembangan terakhir dari zat warna mordan. Dalam pencelupan dengan zat warna mordan timbul kesukaran karena terjadi perubahan warna yang diakibatkan oleh senyawa-senyawa logam. Untuk itu zat warna kompleks logam dibuat dengan mereaksikan krom dengan molekul-molekul zat warna.

#### 5. Zat Warna Belerang

Zat warna ini merupakan senyawa organik kompleks yang mengandung belerang pada sistem khromofornya dan gugusan sampingnya yang berguna dalam pencelupan. Dipergunakan terutama untuk serat-serat selulosa, untuk mendapatkan tahan luntur warna terhadap pencucian dengan nilai yang baik tetapi dengan biaya yang rendah, biasanya warnanya suram. Struktur molekul zat warna belerang merupakan molekul yang kompleks dan tidak larut dalam air. Maka dalam pencelupannya diperlukan reduktor natrium sulfida dan soda abu untuk melarutkannya.

Sifat-sifat zat warna belerang, yaitu :

- Zat warna yang tidak larut dalam air, namun beberapa diantaranya ada yang larut dalam air dan menyerupai zat warna bejana.
- Zat warna ini tidak langsung untuk mencelup serat selulosa tanpa direduksi terlebih dahulu. Reduktor yang dapat dipakai antara lain natrium hidrosulfit, natrium sulfida atau campuran keduanya.
- Tahan cuci dan tahan sinar.
- Harganya murah.
- Hasil celupannya dapat menimbulkan kemunduran kekuatan bahan yang dicelup.

## 6. Zat Warna Bejana

Zat warna ini tidak larut dalam air tetapi dapat dirubah menjadi senyawa leuco yang larut dalam penambahan senyawa reduktor natrium hidrosulfid dan natrium hidroksida. Untuk mempermudah cara pemakaiannya dikembangkan menjadi zat warna bejana yang larut dengan cara mengubah strukturnya menjadi garam natrium dari ester asam sulfat. Zat warna yang larut ini dapat dikembalikan ke dalam struktur aslinya di dalam serat dengan cara oksidasi dalam suasana asam. Oleh karena itu hasil celupannya mempunyai ketahanan cuci yang baik. Afinitas larutan leuco terhadap serat selulosa sangat besar, sehingga sering menimbulkan hasil celupan yang tidak merata. Untuk mengatasinya sering dilakukan pencelupan cara pigmen padding dimana zat warna yang tidak mempunyai afinitas didistribusikan merata pada bahan sebelum direduksi dan dioksidasi.

## 7. Zat Warna Dispersi

Zat warna dispersi tidak banyak larut dalam air dan tidak dapat mewarnai serat hidrofob, namun dengan bantuan zat pengemban atau dengan suhu yang tinggi, maka serat dapat diwarnai. Dengan adanya energi panas akan melunakkan serat dan bersamaan dengan itu melelehkan zat warna, sehingga berdifusi ke dalam serat. Dalam perdagangan sebagai bubuk.

Sifat-sifat zat warna dispersi, yaitu :

- Zat warna ini termasuk golongan zat warna yang tidak larut dalam air, akan tetapi pada umumnya dapat terdispersi secara sempurna.
- Zat warna ini sebenarnya tidak dapat mewarnai serat hidrofob sehingga memerlukan bantuan zat pembawa carrier atau dengan suhu tinggi.

## 8. Zat Warna Reaktif

Zat warna ini dapat bereaksi dengan selulosa atau protein sehingga memberikan tahan luntur warna yang baik. Reaktifitas zat warna ini bermacam-macam, sehingga sebagian dapat digunakan pada suhu tinggi. Zat warna reaktif termasuk golongan zat warna yang larut dalam air. Faktor yang berpengaruh pada penyerapan zat warna ini adalah tingginya pH dan banyaknya elektrolit. Untuk memakai zat warna ini umumnya ditambahkan natrium karbonat.

## 9. Zat Warna Naftol

Zat warna ini merupakan zat warna yang tidak larut dan terbentuk di dalam serat dari dua komponen pembentuknya. Golongan zat warna ini terutama untuk mewarnai serat selulosa dengan warna cerah terutama warna merah. Ketahanannya baik kecuali tahan gosoknya. Zat warna naftol merupakan zat warna yang terbentuk di dalam serat dari komponen penggendeng yaitu naftol dan garam pembangkit, yaitu senyawa diazonium yang terdiri dari senyawa amina aromatik. Zat warna ini termasuk golongan zat warna azo yang tidak larut dalam air. Zat warna ini dapat mempunyai afinitas terhadap serat selulosa setelah diubah menjadi naftolat, dengan jalan melarutkannya dalam larutan alkali. Garam diazonium yang dipergunakan sebagai pembangkit tidak mempunyai afinitas terhadap selulosa, sehingga cara pencelupan dengan zat warna naftol selalu dimulai dengan pencelupan memakai larutan naftolat dan natrium hidroksida, kemudian baru dibangkitkan dengan garam diazonium. Zat warna naftol dapat bersifat poligenik, artinya dapat memberikan bermacam-macam warna, tergantung dari macam garam diazonium yang dipergunakan dan dapat pula bersifat monogetik, yaitu hanya dapat memberikan warna yang mengarah ke satu warna saja, tidak bergantung kepada macam garam diazoniumnya.

## 10. Zat Warna Pigmen

Zat warna pigmen mula-mula banyak digunakan di dalam pencelupan. Dengan ditemukannya zat pengikat yang bersifat plastis, maka penggunaan zat warna pigmen dalam pencelupan mulai dikembangkan. Ketahanannya baik kecuali tahan gosoknya. Zat warna naftol merupakan zat warna yang terbentuk di dalam serat dari komponen penggendeng yaitu naftol dan garam pembangkit, yaitu senyawa diazonium yang terdiri dari senyawa amina aromatik. Zat warna ini termasuk golongan zat warna azo yang tidak larut dalam air. Zat warna ini dapat mempunyai afinitas terhadap serat selulosa setelah diubah menjadi naftolat, dengan jalan melarutkannya dalam larutan alkali. Garam diazonium yang dipergunakan sebagai pembangkit tidak mempunyai afinitas terhadap selulosa, sehingga cara pencelupan dengan zat warna naftol selalu dimulai dengan pencelupan memakai larutan naftolat dan natrium hidroksida,

kemudian baru dibangkitkan dengan garam diazonium. Zat warna naftol dapat bersifat poligenik, artinya dapat memberikan bermacam-macam warna, tergantung dari macam garam diazonium yang dipergunakan dan dapat pula bersifat monogetik, yaitu hanya dapat memberikan warna yang mengarah ke satu warna saja, tidak bergantung kepada macam garam diazoniumnya.

Sifat-sifat zat warna pigmen, yaitu :

- Tidak larut dalam air dan sebenarnya tidak mempunyai afinitas terhadap tekstil.
- Ketahanan gosoknya kurang.

Mekanisme pencelupan dari zat warna pigmen ini tidak bisa dilakukan dengan cara konvensional seperti halnya pencelupan pada zat warna dispersi.

#### 11. Zat Warna Oksidasi

Zat warna ini merupakan suatu senyawa antara berat molekul rendah, yang dicelupkan dan kemudian dioksidasikan dalam serat di dalam suasana asam untuk membentuk molekul berwarna yang lebih besar dan tahan larut.

Dari uraian diatas, jelaslah bahwa tiap-tiap jenis zat warna mempunyai kegunaan tertentu dan sifat-sifat yang tertentu pula. Pemilihan zat warna yang akan dipakai bergantung pada bermacam-macam faktor antara lain :

1. Jenis serat yang akan diwarnai.
2. Macam warna yang dipilih dan warna-warna yang tersedia di dalam jenis zat warna.
3. Tahan luntur warna yang diinginkannya.
4. Peralatan produksi yang tersisa.
5. Biaya.

#### 2.2.3.1.1 Pencelupan Dengan Zat Warna Reaktif

Zat warna reaktif adalah suatu zat warna yang dapat mengadakan reaksi dengan serat, sehingga zat warna tersebut merupakan bagian dari pada serat. Oleh karena itu hasil celupan zat warna reaktif mempunyai ketahanan cuci yang sangat baik, demikian pula berat molekul zat warna relatif kecil maka kilapnya akan lebih dari pada zat warna direk.

Menurut reaksi yang terjadi, zat warna reaktif dapat dibagi menjadi 2 golongan :

1. Golongan I : Zat warna reaktif yang mengadakan reaksi substitusi dengan serat dan membentuk ikatan pseudu ester, misalnya zat warna Procion, Cibaron, Driamaren dan Levafik.
2. Golongan II : Zat warna reaktif yang dapat mengadakan reaksi adisi dengan serat dan membentuk ikatan ester, misalnya zat warna Remasol, Remalan dan Primazin.

Menurut cara pemakaiannya, zat warna reaktif dapat pula dibagi menjadi :

1. Pemakaian secara dingin, yaitu untuk zat warna reaktif yang mempunyai kereaktifan tinggi, misalnya Procion M, dengan sistem reaktif dikloro-triazin.
2. Pemakaian secara panas, yaitu untuk zat warna reaktif yang mempunyai kereaktifan rendah misalnya Procion H, Cibacron dengan sistem reaktif momo-khlorotriazin, Remasol dengan sistem reaktif vinil sulfon (Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002).

### **2.2.3.2. Karakteristik Limbah Industri Penyempurnaan**

Proses penyempurnaan tekstil adalah proses basah tekstil yang paling banyak menimbulkan pencemaran, karena mengerjakan tekstil dalam larutan zat kimia dengan menggunakan air sebagai medianya.

Proses penyempurnaan tekstil pada umumnya dapat digolongkan menjadi beberapa proses pokok sebagai berikut :

1. Persiapan pencelupan atau pencapan yang meliputi :
  - Penghilangan kanji (*Desizing*).
  - Pemasakan (*Scouring*).
  - Pemerseran (*Mercerizing*) untuk kapas dan campurannya atau konstisasi untuk rayon dan poliester.
2. Pencelupan (*Dyeing*).
3. Pencapan (*Printing*).
4. Penyempurnaan akhir, Calandering (penyetrikaan) dan penyempurnaan resin.

Proses-proses ini dapat dilakukan dengan dua alternatif, yaitu :

Secara keseluruhan berurutan dan sebagian atau dimodifikasi, tergantung pada jenis bahan tekstil yang dikerjakan, alat yang tersedia serta hasil akhir yang diharapkan. Adanya penggunaan zat-zat kimia seperti alkali, asam, kanji, oksidator, reduktor, elektrolit, zat aktif permukaan (surfaktan), zat warna, polimer sintetik dan panas dapat menyebabkan air limbah industri tekstil bersifat alkali asam, COD dan BOD tinggi, berwarna, berbusa, bau dan panas. Tingkat pencemaran yang ditimbulkan bergantung pada macam bahan yang dikerjakan, proses pengerjaan dan jenis mesin/ alat yang digunakan.

Pada proses penyempurnaan bahan kapas dan rayon, proses penghilangan kanji memberikan kadar pencemar yang paling tinggi. Pencemaran yang tinggi juga dikeluarkan dari proses pemasakan, pengelantangan, pencelupan dan pengecapan. Pada proses penyempurnaan bahan poliester, tahap proses relaxing, sisa pencelupan dan pencapan serta pencucian juga sebagai pencemar yang tinggi (Depperindag, 1998 dalam Prayitno, 2002).

Industri Tekstil merupakan salah satu industri yang mencemari lingkungan jika beberapa dari parameter yang ada di dalam air limbah tidak sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan. Dimana parameter-parameter dalam air limbah industri tekstil dapat digolongkan berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur, No. 45 Tahun 2002, seperti pada Tabel 2.1:

**Tabel 2.1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Tekstil**

BAKU MUTU LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL	
Volume Limbah Cair Maximum per satuan produk	
17 m <sup>3</sup> / ton produk Tekstil grey	
50 m <sup>3</sup> /ton produk tekstil dari Pertenunan sampai Pemucatan 94 m <sup>3</sup> /ton produk tekstil dari Pertenunan sampai Pewarnaan 77 m <sup>3</sup> / ton produk Tekstil Pewarnaan tanpa Pertenunan 6 m <sup>3</sup> / ton produk Tekstil Printing	
Parameter	Kadar Maximum (mg/l)
BOD <sub>2</sub>	50
COD	150
TSS	50
Phenol	1
Cr.Total	1
Minyak dan Lemak	3,6
NH <sub>2</sub> N (amonia total)	8
Sulfida (sebagai H <sub>2</sub> S)	0,3
pH	6-9

Sumber : Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur, No. 45 Tahun 2002.

## 2.3. Parameter COD dan Warna

### 2.3.1 COD (Chemical Oxygen Demand)

COD merupakan jumlah oksigen (mg O<sub>2</sub>) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 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 (Alaerts dan Santika, 1987). Selain tes COD, pengukuran kandungan zat-zat organik dapat pula dilakukan dengan tes Biological Oxygen Demand (BOD).

Ada beberapa keuntungan tes COD dibandingkan dengan tes BOD :

1. Analisa COD hanya memakan waktu kurang lebih 3 jam, sedangkan analisa BOD memerlukan waktu 5 hari.

2. Untuk menganalisa COD antara 50 sampai 800 mg/l, tidak dibutuhkan pengenceran sampel sedang pada umumnya analisa BOD selalu membutuhkan pengenceran.
3. Ketelitian dan ketepatan tes COD adalah 2 sampai 3 kali lebih tinggi dari tes BOD.
4. Gangguan dari zat-zat yang bersifat racun terhadap mikroorganisme pada tes BOD, tidak menjadi soal pada tes COD.

(Alaerts dan Santika, 1987)

### 2.3.2 Warna

Warna di dalam air disebabkan oleh zat warna yang berasal dari bahan organik, antara lain tanin dan lignin maupun bahan anorganik seperti logam dan senyawa kimia. Warna dalam air dapat dibedakan menjadi warna sejati (*true colour*) dan warna semu (*apparent colour*). Warna sejati adalah warna dari air yang sebenarnya tanpa adanya kekeruhan. Warna sejati disebabkan karena adanya senyawa-senyawa organik yang mudah larut dan beberapa ion logam, misalnya besi dan mangan. Sedangkan warna semu bukan saja ditimbulkan oleh zat-zat tersebut tetapi juga karena adanya bahan yang tersuspensi.

Limbah industri tekstil adalah sisa proses yang tidak memiliki nilai ekonomis. Pada umumnya pencemaran secara fisik dari industri tekstil adalah warna. Salah satu penyebab adanya warna pada limbah industri tekstil yaitu karena adanya penggunaan zat warna yang berfungsi untuk menyempurnakan produk dari serangkaian proses produksi.

Tingginya kandungan zat warna pada limbah tekstil banyak dijumpai pada proses pewarnaan dan pembilasan. Penggunaan jenis zat warna tergantung pada jenis serat kain yang akan diwarnai, macam warna, tahan luntur, biaya yang diinginkan dan faktor teknis lainnya. Di dalam zat warna tekstil tidak digolongkan berdasarkan struktur kimianya melainkan berdasarkan sifat-sifat pencelupan maupun cara penggunaannya.

## 2.4 Jenis - jenis Tumbuhan Air

Tumbuhan air merupakan tumbuhan yang hidup dalam habitat air atau pada tempat yang basah. Daerah persebaran dari tumbuhan air ini cukup luas sehingga dapat dijumpai didaerah perairan, baik itu sungai, danau, rawa-rawa dan sebagainya dengan berbagai jenis ragam dan bentuk serta sifat-sifatnya. Dalam pertumbuhannya, tumbuhan air ini ada yang seluruh bagiannya tercelup oleh air, namun ada juga yang hanya sebagian tubuhnya saja.

Tumbuhan air yang hidup dalam perairan memberikan keuntungan antara lain: menyumbang produktivitas dan menyediakan media substrat untuk pertumbuhan mikroorganisme dan membantu siklus nutrisi akumulasi di dalam sedimen. Kaitannya dengan fungsi *fitoremediasi* sebagai sistem pengolahan limbah cair, tumbuhan air berperan penting dalam menyediakan tempat untuk menempelnya mikroba pengurai. Berdasarkan habitat dan karakteristiknya, tanaman air dapat dibagi menjadi empat golongan yaitu :

1. Tumbuhan air yang hidup melayang di dalam perairan (*Submerged Aquatic Plant*)

Merupakan tumbuhan yang hidupnya keseluruhan di dalam air atau tenggelam seluruh bagian. Akar dari tumbuhan ini dapat menyentuh dasar perairan, namun sebagian besar diantaranya melayang dan posisinya dalam air sangat menunjang fungsinya sebagai saringan dari berbagai jenis bahan terlarut yang terdapat di perairan. Contoh dari tumbuhan jenis ini adalah hydrilla (*Hydrilla verticillata*), *Charra*, *Egeria densa*, *Myriophyllum aquaticum*, dan *Elodea nutallii* (Anonim, 2003).

2. Tumbuhan air yang hidup di permukaan (*Floating Aquatic Plant*)

Ada dua jenis *floating type*, yaitu:

- a. *Floating attached*

Jenis ini mempunyai daun yang mengapung di atas permukaan air tetapi akarnya tertanam pada bagian dasar. Yang termasuk dalam golongan ini adalah *Water lily* (*Nymphaea nauchali*).

- b. *Floating unattached*

Akar dari jenis ini menggantung di air dan tidak menempel pada dasar perairan dan juga tidak membutuhkan media di dalam penanamannya

Sehingga cara penanaman tumbuhan ini lebih mudah hanya meletakkan di atas permukaan air saja. Yang termasuk dalam golongan ini adalah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), Kangkung Air (*Ipomea aquatica*), Duckweed (*Lemna minor*).

3. Tumbuhan air yang hidup di tepi perairan (*Marginal Emergent Aquatic Plant*)

Tumbuhan ini dapat tumbuh subur pada tanah basah, tanah selalu tertutup dengan jumlah air yang kecil atau tanah yang mengering dan menjadi jenuh (Anonim, 2003). Jenis tumbuhan air ini memiliki akar dan batang yang terendam dalam air. Namun, sebagian besar batangnya justru menyembul ke permukaan air. Selain batang, bagian batang dan bunganya juga berada di atas permukaan air, yang termasuk tumbuhan jenis ini adalah *Cattail* (*Typha angustifolia*), Rumput payung (*Cyperus alternifolius*) dan *Bulrush* (*Pontedoriacordenata*).

4. Tanaman air yang tumbuh pada dasar perairan (*Deep Aquatic Plant*)

Tanaman air yang tumbuh pada dasar perairan mempunyai akar yang tertanam kuat pada bagian dasar tersebut, sedangkan batangnya berdiri tegak menopang daun dan bunga yang muncul pada permukaan air. Yang mana tinggi dan posisi batang biasanya tergantung pada kedalaman perairan tempat hidupnya. Sehingga akan dijumpai tinggi batang serta posisi tanaman yang berbeda-beda. Yang termasuk dalam golongan ini antara lain adalah *Nuphar* dan *Nymphania*.

#### 2.4.1 Kayu Apu (*Pistia stratiotes*, L)

Dalam taksonomi tumbuhan, tumbuhan Kayu Apu diklasifikasikan sebagai berikut:

Klas : *Monocotyledone*  
Famili : *Araceae*  
Genus : *Pistia*  
Species : *Pistia stratiotes*

(Sumber : Rivers III, 2005).

Indonesia mengenal *Pistia Stratiotes*, sebagai “kayu apu” di Jawa khususnya dan “kapu-kapu atan apu-apu” (Indonesia). Kayu apu ini merupakan tanaman yang terapung diatas permukaan air (*Floating Type*) dan akarnya menggantung dalam air, berbatang pendek atau bahkan tidak nampak sama sekali,tebal, tegak lurus dan dengan tunas yang menjalar, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2. Persebaran tanaman ini sangat cepat, terutama di daerah tropik di seluruh dunia. Selain itu, kayu apu sangat cocok di kolam yang teduh juga senang tumbuh digenangan air yang tenang atau mengalir dengan lambat, sehingga banyak kita jumpai di perairan, seperti danau, sungai, rawa dan sawah. Temperatur pertumbuhan optimal pada tumbuhan ini adalah 22 – 32°C (72 - 86°F). Tumbuhan air ini menyukai hidup pada daerah yang sedikit asam n sedikit basah, yaitu pada pH 6,5 - 8 (Rivers III, 2005).

Bentuk dan ukuran daun kayu apu dapat berubah-ubah, bisa menyerupai sendok, lidah atau ramping dengan ujung yang melebar. Warna daunnya hijau muda dan makin pangkal makin putih. Susunan daunnya terpusat atau berjejal rapat dan berbentuk seperti bunga mawar. Dan rhizoma atau akarnya mengapung pendek dengan banyak akar tambahan yang penuh dan bulu-bulu akar yang lembut.



**Gambar 2.2. Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)**

**(Sumber : Rivers III, 2005).**

## **2.4.2 Perkembangbiakan Kayu Apu**

Kayu apu berkembang biak dengan baik secara vegetatif yang dilakukan oleh stolonnya yang dengan cepat sekali akan menutupi permukaan air. Namun pada saat itu, bagian terbesar dari stolonnya akan mati. Kemudian hal ini akan digantikan oleh tanaman yang masih muda yang tersisa, dimana mereka akan berkembang biak dengan cepat, sehingga keadaan semula akan pulih kembali. Setiap roset yang baru tersebut dihubungkan oleh batang kecil yang menjalar atau stolon yang mudah dipotong.

## **2.4.3 Pemanfaatan Kayu Apu**

Kayu Apu dapat dimanfaatkan sebagai pupuk karena mempunyai kadar kalium yang tinggi. Selain itu juga dapat digunakan sebagai makanan hewan seperti itik, babi dan ikan. Tumbuhan air ini juga bermanfaat untuk menjernihkan air sungai yang keruh dan dapat berfungsi untuk menurunkan kandungan pencemar seperti COD, N-Total dan P-total dalam air limbah sampai dengan 90% (Sari, 1999).

## **2.5 Kebutuhan Unsur Hara**

### **2.5.1 Unsur Hara Yang Dibutuhkan**

Tumbuhan membutuhkan unsur-unsur hara dalam pertumbuhannya. Apabila salah satu dari unsur hara tersebut tidak terpenuhi, maka hal ini akan mempengaruhi metabolisme tumbuhan. Unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan air dapat dibedakan menjadi:

1. Unsur makro

Yang termasuk dalam unsur makro adalah C, H, O, N, P, S, K, Ca dan Mg. Unsur makro merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang besar. Tumbuhan mengambil karbon (C) dalam bentuk CO<sub>2</sub> yang berasal dari atmosfer. Air dan unsur lainnya diambil dari dalam tanah.

## 2. Unsur mikro

Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co dan Cl merupakan unsur-unsur yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah yang kecil. Umumnya unsur mikro ini didapatkan dari lapisan tanah dan air.

Agar dapat diserap oleh tumbuhan, maka unsur-unsur tersebut harus berbentuk larutan atau terlarut dalam air. Sedangkan fungsi air itu sendiri bagi tumbuhan adalah:

- a. Sebagai sumber kehidupan
- b. Sebagai pelarut unsur hara dalam tanah sehingga dapat diserap oleh tumbuhan
- c. Merupakan proses penting dalam fotosintesa
- d. Untuk mempertahankan suhu tumbuhan sehingga sesuai dengan suhu lingkungan (Lakitan, 2007).

Kebutuhan air pada tumbuhan diperolehnya dari penyerapan air oleh akar. Penyerapan air oleh akar tumbuhan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan morfologi akar. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi penyerapan air oleh akar adalah:

- a. Ketersediaan air tanah
- b. Temperatur tanah
- c. Sirkulasi udara tanah
- d. Konsentrasi larutan dalam tanah
- e. Sistem perakaran

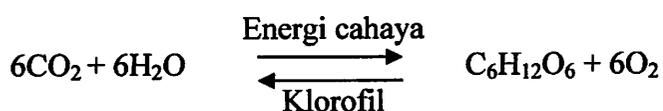
### 2.5.2. Fotosintesis

Pada hakikatnya, semua kehidupan di atas bumi ini tergantung langsung dari adanya proses asimilasi CO<sub>2</sub> menjadi senyawa kimia organik dengan energi yang didapat dari sinar matahari. Dalam proses ini energi sinar matahari (energi foton) ditangkap dan diubah menjadi energi kimia dengan proses yang disebut *fotosintesis*. Energi matahari yang ditangkap oleh proses fotosintesis merupakan lebih dari 90% sumber energi yang dipakai oleh manusia untuk pemanasan, cahaya, dan tenaga. (Kusumah, 1995 dalam Subrata, 2007).

Fotosintesis merupakan suatu sifat fisiologi yang hanya dimiliki oleh tumbuhan. Pada waktu proses fotosintesis berlangsung molekul-molekul air diambil dari media hidupnya, sedangkan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) diambil dari udara atau dari dalam air dalam bentuk karbondioksida terlarut. Oleh kloroplas tumbuhan, atom-atom C, H, dan O dari zat-zat tersebut diubah menjadi senyawa hidrat arang (gula atau pati). Sebagai hasil tambahan dari proses fotosintesis, tumbuhan mengeluarkan kelebihan oksigen ke udara dan perairan sehingga dapat dimanfaatkan oleh organisme air. Sedangkan gula yang dihasilkan dari proses fotosintesis merupakan bahan bakar dalam proses respirasi dan menghasilkan energi yang berguna untuk tumbuh dan berkembang biak. Dalam proses fotosintesis ini, diperlukan adanya cahaya matahari. Besarnya energi yang diberikan oleh cahaya tergantung dari intensitas cahaya (banyaknya sinar per cm<sup>2</sup> per detik) dan waktu penyinaran. Proses fotosintesis ini tidak dapat berjalan pada suhu kurang dari 5<sup>0</sup> C (Kusumah, 1995 dalam Subrata, 2007).

Laju fotosintesis akan tinggi bila intensitas cahaya tinggi dan akan menurun bila intensitas cahaya berkurang. Oleh karena itu cahaya berperan sebagai faktor pembatas utama dalam fotosintesis atau produktifitas primer (Sudjadi, 2006). Unsur radiasi matahari yang penting bagi tanaman ialah intensitas cahaya, kualitas cahaya, dan lamanya penyinaran. Bila intensitas cahaya yang diterima rendah, maka jumlah cahaya yang diterima oleh setiap luasan permukaan tanaman dalam jangka waktu tertentu rendah (Gardner et al., 1991 ; Djukri dan Purwoko, 2003). Kondisi kekurangan cahaya berakibat terganggunya metabolisme, sehingga menyebabkan menurunnya laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat (Chowdury et al., 1994 ; Soepandi et al., 2003 ; Djukri dan Purwoko, 2003).

Secara garis besar yang dimaksud dengan fotosintesis adalah proses yang dilakukan oleh tumbuhan hijau untuk membuat makanan (glukosa) dari air dan karbon dioksida dengan bantuan cahaya dan klorofil. Reaksi yang terjadi selama proses fotosintesis dapat dilihat di bawah ini :



Selain CO<sub>2</sub>, air dan cahaya, ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses fotosintesa antara lain:

a. Unsur hara

Beberapa unsur hara seperti fosfat, nitrat dan unsur lainnya dapat meningkatkan proses fotosintesa karena unsur-unsur tersebut juga berperan terhadap pertumbuhan dan perkembangan bagian-bagian tumbuhan termasuk daun, kloroplas dan lainnya.

b. Suhu

Pengaruh suhu terhadap proses fotosintesa bergantung pada jenis tumbuhannya dan keadaan lingkungan tempat itu tumbuh.

c. Umur daun

Sejalan dengan pertumbuhan daun, kemampuannya untuk melakukan fotosintesa akan meningkat sampai daun tersebut berkembang penuh, kemudian mulai turun secara perlahan. Daun tua yang hampir mati, tidak mampu berfotosintesa karena rusaknya klorofil dan hilangnya fungsi dari kloroplas (Lakitan, 2007).

### **2.5.3. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air**

Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui akar atau daun. Unsur karbon (C) dan oksigen (O) diambil oleh tanaman dari udara sebagai CO<sub>2</sub> melalui stomata daun dalam proses fotosintesis. Sedangkan unsur H diambil dari air tanah (H<sub>2</sub>O) oleh akar tanaman dan dalam jumlah sedikit air juga diserap tanaman melalui daun. Unsur-unsur hara yang diserap oleh tumbuhan terdapat dalam bentuk kation dan anion yang terlarut dalam air. Air yang mengandung bahan pencemar dan berbahaya bagi lingkungan seperti air limbah dari industri maupun air limbah domestik, tetapi bermanfaat bagi tumbuhan maka bahan tersebut akan diserapnya (Lakitan, 2007). Proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan ini dapat berlangsung bila unsur hara tersebut telah berkontak dengan permukaan akar.

Penyerapan unsur hara oleh akar melibatkan beberapa proses antara lain :

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

Secara garis besar proses yang terjadi pada pergerakan ion dari media ke permukaan akar memiliki kriteria tertentu diantaranya adalah terdapatnya gradien konsentrasi antara larutan media dan larutan ruang bebas di antara akar pada kondisi pertumbuhan normal.

2. Penimbunan ion dalam sel akar.

Penimbunan ion dalam sel akar dianggap sebagai tahap pertama dalam proses penyerapan unsur hara melalui akar. Ion-ion menempel di permukaan akar dan menembus dinding sel dan selanjutnya akan sampai pada membran sel. Dari lapisan membran sel inilah mekanisme penyerapan ini dimulai.

3. Pergerakan ion secara radial dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu. Pergerakan ion ini dilakukan melalui 3 jalan, yaitu:

- a. Pergerakan antar vakuola sel, dimana vakuola sel berfungsi sebagai tempat penampung anion bukan jalan utama.
- b. Pergerakan melalui simplas, dimana ion dikumpulkan dalam sitoplasma dan bergerak dari sel yang satu ke sel lainnya melalui plasmadesmata (penghubung diantara sel-sel hidup).
- c. Pergerakan melalui ruang bebas dari dinding sel atau kombinasi ketiganya. Pergerakan ini dilakukan melalui difusi aliran massa diantara sel.

4. Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun, dimana pergerakan ion secara pasif melalui membran ini memerlukan adanya daya gerak hingga kesetimbangan pada dua sisi membran (Lakitan, 2007).

## **2.6. Mekanisme Penurunan Kandungan Bahan Organik Dengan Tumbuhan Air**

Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian senyawa-senyawa organik. Bahan organik yang tersisa pada larutan dihilangkan oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar dan batang tumbuhan air.

Aktivitas mikroorganisme pada akar dan batang sangat berpengaruh terhadap penurunan bahan organik. Kegiatan mikroorganisme dalam reaktor

tumbuhan air dapat disamakan dengan yang ada dalam trickling filter dan system activated sludge, tetapi jenis mikroorganisme dalam reaktor tumbuhan air lebih banyak (Polpraset, 1989 dalam Sari, 1999).

Tumbuhan air, misalnya kayu apu, memiliki akar-akar mengapung yang pendek dengan banyak akar tambahan yang penuh dengan bulu-bulu akar yang lembut dan lebat. Permukaan akarnya digunakan oleh mikroorganisme sebagai tempat pertumbuhan sehingga kepadatan mikroorganisme dalam system meningkat. Terutama nitrifikasi yang peka menemukan tempat pertumbuhan yang sesuai pada akar tumbuhan air. Nitrifikasi yang dihasilkannya serta denitrifikasi yang berlangsung dalam sediment merupakan proses yang memisahkan kandungan nitrogen dalam air limbah (Stowell, 1981 dalam Sari, 1999).

## 2.7. Analisis Pertumbuhan Tanaman

Pengukuran pertumbuhan tumbuhan dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan keadaan awal dan akhir pada masing-masing tumbuhan pada reaktor.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghitung pertumbuhan tanaman adalah dengan mengukur tinggi atau lebar tanaman, karena tinggi atau lebar tanaman merupakan ukuran tanaman yang paling sering diamati baik sebagai indikator pertumbuhan tanaman maupun sebagai parameter yang digunakan untuk mengukur pengaruh lingkungan atau perlakuan yang diterapkan. Ini didasarkan atas kenyataan bahwa tinggi atau lebar tanaman merupakan ukuran pertumbuhan yang paling mudah dilihat (Sitompul dan Guritno, 1995).

$$RGR = \frac{T_n - T_0}{waktu}$$

dimana:

RGR = Relative Growth Rate (cm)

$T_n$  = tinggi tumbuhan pada waktu ke-n (cm)

$T_0$  = tinggi tumbuhan pada waktu ke-0 (cm)

n = waktu (hari)

Cara perhitungan nilai RGR (Relative Growth Rate) di atas hanya berlaku pada tumbuhan Eceng gondok dan Kayu apu, pada Eceng gondok berdasarkan tinggi sedangkan untuk Kayu apu berdasarkan lebarnya.

## **2.8. Metode Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi analisa deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi) (Soleh, 2005).

### **2.8.1. Statistika Deskriptif dan Inferensi**

Secara garis besar, statistik dibedakan menjadi 2, yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensi. Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebutkan statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data.

Agar mendapatkan informasi lebih terperinci, kita memerlukan analisis data dengan metode statistika tertentu. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga kita memperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisis tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistika inferensi sering disebut statistika induktif. Statistika inferensi memerlukan pengetahuan lebih mengenai konsep probabilitas yang biasa dikenal sebagai ilmu peluang. Ilmu peluang tidak lepas dari statistika karena membantu pengambilan keputusan statistik suatu data (Iriawan dan Astuti, 2006).

### **2.8.2. Analisis Data Statistik dalam Minitab**

Minitab merupakan salah satu program aplikasi statistika yang banyak digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistik. Minitab menyediakan program – program untuk mengolah data statistik secara lengkap. Anda dapat

mencari *software*-nya dalam *website* [www.minitab.com](http://www.minitab.com). Seperti yang telah dijelaskan, komputer berperan sebagai alat bantu untuk melakukan analisa data, sedangkan manusia berperan besar dalam mendesain dan menafsirkan output yang dihasilkan Minitab (Iriawan dan Astuti, 2006 ).

### 2.8.2.1. Analisis ANOVA

Output analisis dalam Sub-subbab ditampilkan dalam window Session. Output memiliki 2 bagian utama, yaitu ANOVA dan output hasil uji perbandingan berpasangan. Output bagian pertama adalah ANOVA. Adapun hipotesis masalah adalah :

#### Hipotesis

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

(rata –rata sample tiap perlakuan sama )

$$H_1 : \tau_i \neq 0$$

(ada perlakuan yang tidak rata –ratanya tidak sama )

#### Daerah penolakan

Hipotesis awal akan ditolak apabila nilai F melebihi  $F_{\alpha, a-1, N-a}$ , dimana  $\alpha$  adalah banyak replikasi ditiap level faktor dan N adalah banyaknya seluruh pengamatan. Untuk mendapatkan nilai  $F_{\alpha, a-1, N-a}$ . Selain menggunakan nilai F, kita bisa pula menggunakan p – value. Hipotesis awal akan ditolak apabila p – value kurang dari  $\alpha$  .

### 2.8.2.2. Analisis Korelasi

Koefisien korelasi Pearson berguna untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara 2 variabel. Nilai korelasi berkisaran antara -1 sampai +1. Nilai korelasi negatif berarti hubungan antara 2 variabel adalah negatif. Artinya, apabila salah satu variabel menurun, maka variabel lainnya akan meningkat. Sebaliknya, nilai korelasi positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah

positif. Artinya, apabila salah satu variabel meningkat, maka variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau -1. Sebaliknya, suatu hubungan antara 2 variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).

### **Hipotesis**

Hipotesis untuk uji korelasi adalah :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Di mana  $\rho$  adalah korelasi antara 2 variabel.

### **Daerah Penolakan**

P-Value <  $\alpha$  .

Untuk membuat interpretasi analisis korelasi, ada beberapa hal yang harus diingat, yaitu :

1. Koefisien korelasi hanya mengukur hubungan linear. Jika ada hubungan nonlinear, maka koefisien korelasi akan bernilai 0.
2. Koefisien korelasi sangat sensitif terhadap nilai ekstrem.
3. Kita bisa membuat korelasi hanya jika variabel memiliki hubungan sebab akibat.

### **2.8.2.3. Analisis Regresi**

Analisis regresi sangat berguna dalam berbagai penelitian antara lain :

- Model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respons dan variabel predictor.
- Model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel predictor terhadap variabel respons.
- Model regresi berguna untuk mempredisikan pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respons.

Model regresi memiliki variabel respons (y) dan variabel predictor (x). Variabel respons adalah variabel yang dipengaruhi oleh suatu variabel predictor. Variabel respons sering dikenal sebagai variabel dependen karena peneliti tidak bisa bebas

mengendalikannya. Kemudian, variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respons dan sering disebut variabel independent karena penelitian bebas mengendalikannya.

### **2.8.3. Keunggulan Minitab**

Keunggulan minitab adalah dapat digunakan dalam pengolahan data statistik untuk tujuan sosial maupun teknik. Dibandingkan dengan program statistika lainnya. Minitab telah diakui sebagai program statistik lainnya, Minitab telah diakui sebagai program statistika yang sangat kuat dengan tingkat akurasi taksiran statistik yang tinggi.

Adapun keunggulan Minitab (terutama Minitab 14) dibandingkan program statistika lainnya (Iriawan dan Astuti, 2006) adalah :

- Pada Minitab 14, tampilan menu yang lebih lengkap dan disertai toolbar – toolbar akan memudahkan pengguna dalam menjalankan perintah.
- Minitab menyediakan StatGuide yang menjelaskan cara melakukan interpretasi table dan grafik statistika yang dihasilkan oleh Minitab dengan cara yang mudah dipahami.
- Ukuran worksheet dinamis dan memuat kolom sampai 4.000.
- Bahasa pemrograman macro lebih mudah. Minitab memiliki bahasa pemrograman macro yang sudah tersedia dalam Minitab versi sebelumnya. Bahasa pemrograman macro hampir mirip dengan bahasa pemrograman basic.
- Minitab 13 dan 14 mempunyai file Minitab Worksheet (MTW) dan Minitab Project (MPJ) yang digunakan untuk membedakan file worksheet dan file project. Minitab versi sebelumnya hanya memiliki file Minitab Worksheet (WTW). File Minitab Project (MPJ) mempermudah penyimpanan semua pekerjaan dalam 1 project.
- Minitab 13 dan 14 menyediakan ReportPad agar mudah membuat laporan project yang telah dibuat.

- Dalam Minitab, pengguna bias membuat nama yang panjang pada file tanpa harus menyingkat nama file.
- Minitab 14 memiliki beberapa tambahan, khususnya dalam melakukan analisis pengendalian kualitas statistik, desain eksperimen, analisis regresi, analisis reliabilitas, dan beberapa tambahan dalam analisis data kategori.
- Minitab 13 dan 14 menyediakan metode Taguchi untuk desain robust yang banyak digunakan dalam desain eksperimen.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Variabel Penelitian

##### 3.1.1. Variabel Terikat

1. Penurunan konsentrasi COD
2. Penurunan Warna
3. Pertumbuhan kayu apu (*Pistia Stratites L*) dengan melihat lebarnya.

##### 3.1.2. Variabel Bebas

1. Kerapatan Tumbuhan : 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/cm<sup>2</sup>, 50 mg/cm<sup>2</sup>  
(Berdasarkan penelitian pendahuluan didapatkan kerapatan tumbuhan yang maksimal untuk dapat bertahan hidup pada air limbah sampai hari ke-6 waktu perlakuan).
2. Waktu Detensi 2hari, 4hari, 6hari  
(Berdasarkan penelitian pendahuluan didapatkan waktu maksimal tanaman dapat bertahan hidup didalam air limbah selama 6 hari)

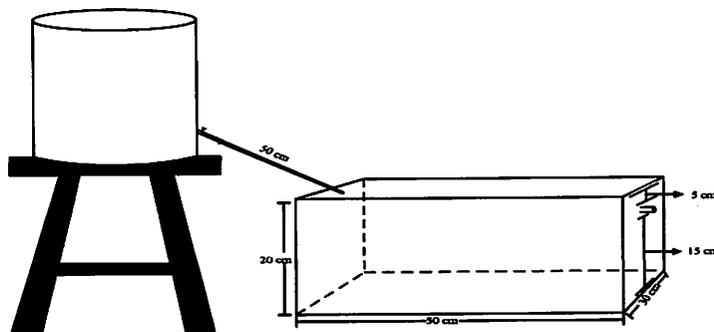
#### 3.2. Alat-alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat-alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

##### a. Reaktor

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan kaca berbentuk persegi panjang dengan panjang 50 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 20 cm, seperti pada gambar di bawah ini :



- b. pH meter
- c. Erlenmeyer
- d. Spektrofotometer
- e. Pipet
- f. Karet Penghisap
- g. Timbangan

### **3.2.2. Bahan**

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini, adalah :

1. Limbah cair industri tekstil.
2. Air aquadest sebagai media tanam.
3. Kayu apu yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan :
  - Jumlah daun : 4-6 helai
  - Panjang tumbuhan : 4-6 cm.
  - Panjang akar : 10-16 cm.
  - Warna daun : hijau segar.

### **3.3. Penelitian Pendahuluan**

#### **3.3.1. Analisis Pendahuluan**

Analisa pendahuluan ini merupakan suatu analisa mengenai kandungan COD dan Warna yang terdapat dalam air limbah. Analisa parameter-parameter (COD dan Warna) dilakukan sesuai dengan standard prosedur analisis yang terdapat pada standard Methods (APHA, 1998) dan (Alaerts dan Santika, 1987).

#### **3.3.2. Aklimatisasi**

Sebelum diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi COD dan Warna terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi pada kayu apu. Tujuan proses aklimatisasi ini adalah supaya kayu apu dapat menyesuaikan diri dengan air limbah yang mengandung COD dan Warna yang nantinya akan menjadi tempat tumbuhnya (Hamamah dan Trihadiningrum, 2008).

Proses aklimatisasi dilakukan sebagai berikut :

1. Persiapan media tanam kayu apu dengan menggunakan perbandingan air limbah dan air pengencer (air aquadest) adalah 1:2
2. Pemilihan tanaman kayu apu yang sehat dan segar.
3. Penanaman kayu apu pada media tanam selama 5 hari.
4. Setelah hari kelima, dilakukan pemilihan kayu apu yang sehat dan segar kemudian selanjutnya tanaman siap untuk diaplikasikan.

### **3.4. Analisis Penelitian**

#### **3.4.1. Penelitian dengan Kerapatan Tanaman Uji**

Variasi kerapatan dimaksudkan untuk mengetahui kerapatan optimum tanaman dalam menurunkan kandungan konsentrasi COD dan Warna pada air limbah. Prosedur untuk penelitian ini adalah :

1. Dipersiapkan 3 reaktor dengan perlakuan yang sama, yaitu media tanam dengan air limbah industri tekstil yang mengandung COD dan Warna.
2. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/cm<sup>2</sup>, 50 mg/cm<sup>2</sup> (berat kayu apu / luas permukaan wadah). Setelah itu kayu apu yang telah ditiriskan diaplikasikan pada media tanam yang disediakan.
3. Pengamatan dilakukan terhadap tanaman uji (kayu apu) kemudian melakukan analisa COD dan Warna setiap 2 hari sekali selama 6 hari.

#### **3.4.2. Analisis COD**

Dalam menganalisa COD digunakan metode closed reflux titrimetric. Prinsip pengukuran dengan cara ini adalah senyawa organik dalam air dioksidasi oleh larutan kalium dikromat dalam suasana asam sulfat pada temperatur 150°C selama ± 2 jam. Kelebihan kalium dikromat (yang tidak tereduksi) dititrasi dengan larutan fero ammonium sulfat (FAS) memakai indikator feroin (Alaerts dan Santika, 1987).

#### **3.4.3. Analisis Warna**

Metode yang digunakan dalam menganalisa warna adalah metode spektrofotometri. Dalam metode ini analisa warna ditentukan dengan

membandingkan pembacaan warna sampel dengan larutan standar warna yang diketahui konsentrasinya dengan spektrofotometer. Pada metode ini sebagai larutan baku warna digunakan larutan Platina Cobalt untuk membuat kurva kalibrasi.

#### **3.4.4. Analisis Pertumbuhan Tanaman**

Pengukuran pertumbuhan tanaman dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan keadaan awal dan akhir pada tanaman dalam reaktor dengan melihat lebar Kayu apu.

#### **3.4.5. Removel COD dan Warna**

Sampel-sampel yang diambil secara berkala setelah dianalisis COD dan Warna akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Selanjutnya dihitung penurunan COD dan Warna serta prosentase penurunannya. Hasil perhitungan penurunan COD dan Warna dapat dihitung sebagai berikut :

Penurunan (mg/L) =  $C_o - C_e$ , Dimana :

$C_o$  = Hasil analisis awal (mg/L).

$C_e$  = Hasil analisis akhir (mg/L).

Setelah data penurunan diperoleh selanjutnya dapat ditentukan besarnya prosentase penurunannya. Besarnya prosentase penurunan tersebut dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Prosentase penurunan (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_e} \times 100\%$$

#### **3.5. Analisis Data**

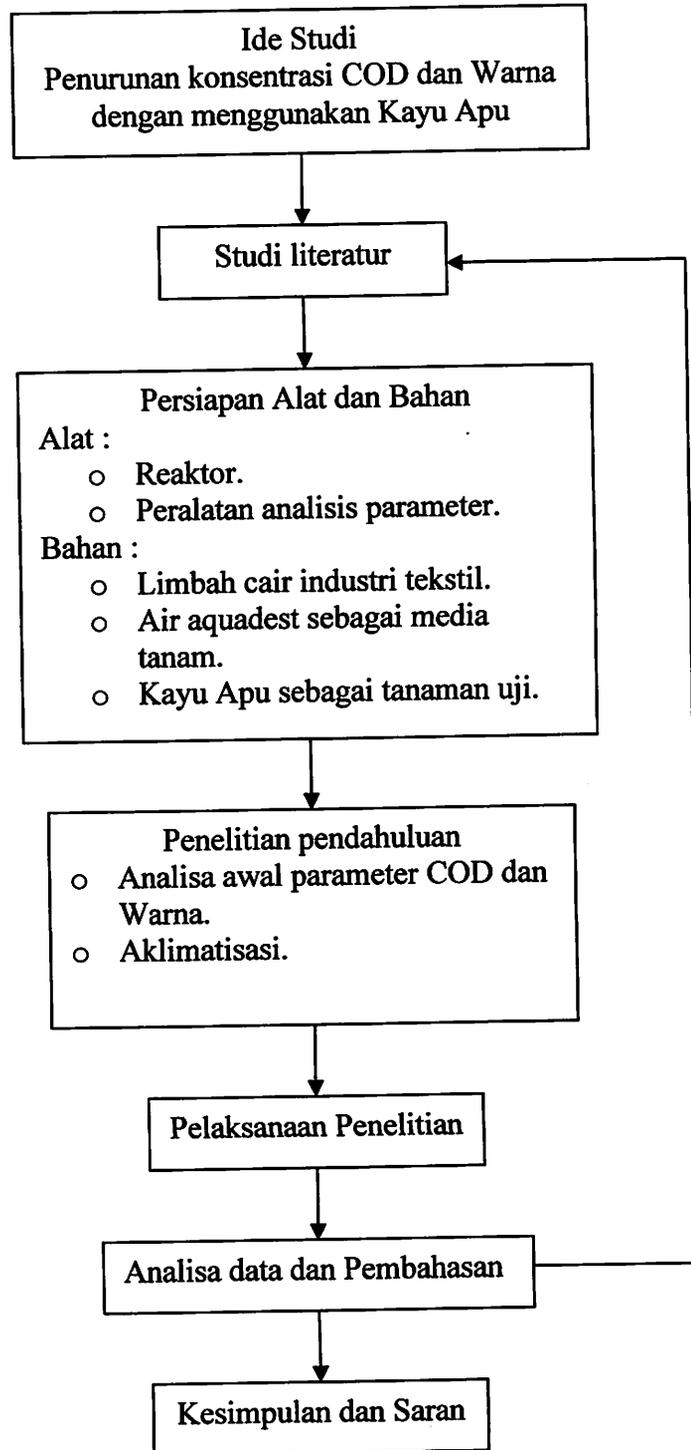
Dari hasil percobaan yang didapat dilakukan analisis data dengan metode :

Analisis Deskriptif ditujukan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis Statistik :

1. Analisis Anova untuk mengetahui tingkat keterkaitan antara variabel kerapatan tumbuhan, waktu detensi terhadap variabel penurunan konsentrasi COD, Warna dan pertumbuhan kayu apu.

2. Analisis Korelasi untuk mengetahui hubungan antara variabel kerapatan tumbuhan, waktu detensi terhadap variabel penurunan konsentrasi COD, Warna dan pertumbuhan kayu apu.
3. Analisis Regresi untuk mengetahui apakah variabel kerapatan tumbuhan, waktu detensi dapat memprediksi variabel penurunan konsentrasi COD, Warna dan pertumbuhan kayu apu.

### 3.6. Kerangka Penelitian



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil**

Dalam penelitian ini dilakukan analisis pendahuluan untuk memperoleh data karakteristik air limbah awal. Karakteristik limbah awal ini digunakan untuk mengetahui kondisi air limbah sebelum dilakukan proses pengolahan. Berdasarkan analisis laboratorium yang dilakukan, diperoleh data karakteristik air limbah awal Industri Tekstil, seperti yang terdapat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1. Hasil Analisis Awal Air Limbah Industri Tekstil**

<b>Parameter</b>	<b>Konsentrasi Dalam Reaktor</b>
COD	1.088,5 mg/L
Warna	15,59 Pt.CO
Temperatur	27 °C
pH	7,3

*Sumber : Hasil Penelitian*

#### **4.2. Analisis Penurunan Konsentrasi COD (Chemical Oxygen Demand)**

##### **4.2.1. Analisis Deskriptif**

Dalam sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dalam hal ini kayu apu, bakteri dan kayu apu merupakan organisme utama yang berperan dalam proses pembuangan zat organik dan nutrien dalam air limbah. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang siap diserap oleh tanaman kayu apu melalui akar yang akan memacu bakteri untuk mempercepat proses penguraian bahan organik, dengan sendirinya kandungan COD dalam air limbah akan berkurang. Dengan demikian data kandungan COD setelah proses pengolahan yang dilakukan berdasarkan waktu detensi 2 hari, 4 hari dan 6 hari dengan kerapatan tumbuhan : 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/ cm<sup>2</sup> dan 50 mg/cm<sup>2</sup> dapat dilihat pada tabel 4.2.

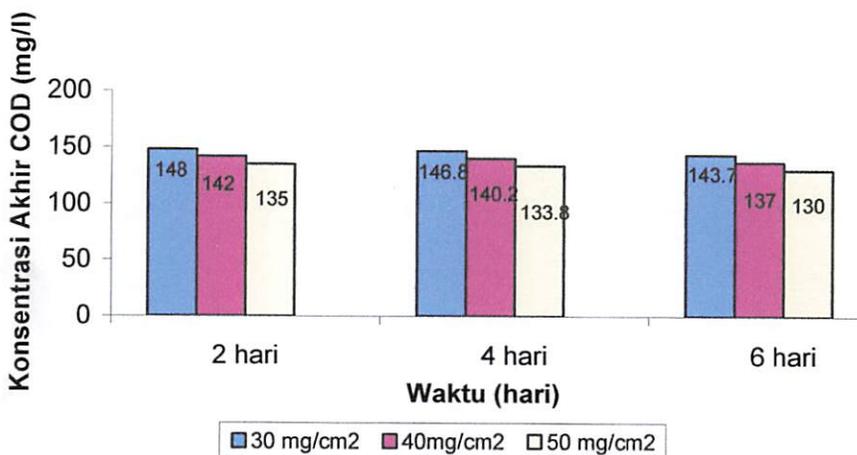
**Tabel 4.2. Konsentrasi COD Setelah Proses Pengolahan**

Waktu detensi (hari) (t)	Kerapatan Tanaman Kayu Apu (mg/cm <sup>2</sup> )	Konsentrasi COD (mg/L)
2	30 mg/cm <sup>2</sup>	148
4		146,8
6		143,7
2	40 mg/cm <sup>2</sup>	142
4		140,2
6		137
2	50 mg/cm <sup>2</sup>	135
4		133,8
6		130

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel 4.2. kandungan COD terbesar adalah pada waktu detensi hari ke dua dengan kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 148 mg/L sedangkan kandungan COD terendah adalah pada waktu detensi hari ke enam dengan kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 130 mg/L.

Dari tabel 4.2. dapat diplotkan pada grafik batang yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1. Grafik Penurunan Konsentrasi COD Akhir Pengolahan**

Nilai persentase penurunan konsentrasi COD setiap variasi kerapatan tumbuhan diketahui dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ Penurunan COD} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

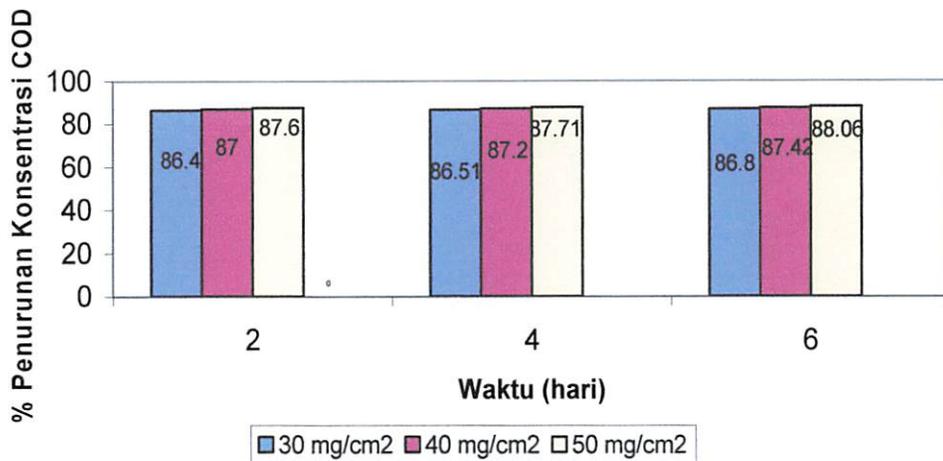
Hasil perhitungan persentase penurunan konsentrasi COD dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3. Persentase Penurunan Konsentrasi COD**

<b>Waktu detensi (hari) (t)</b>	<b>Kerapatan Tanaman Kayu Apu (mg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% Penurunan Konsentrasi COD</b>
2	30 mg/cm <sup>2</sup>	86,40
4		86,51
6		86,80
2	40 mg/cm <sup>2</sup>	87
4		87,20
6		87,42
2	50 mg/cm <sup>2</sup>	87,60
4		87,71
6		88,06

*Sumber : Hasil Penelitian*

Berdasarkan tabel 4.3. dapat diplotkan pada grafik batang yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi COD Terhadap Waktu Detensi**

Berdasarkan tabel 4.3. dan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi COD berada diantara 86,40 % - 88,06 %. Untuk persentase penurunan konsentrasi COD terendah sebesar 86,40 % terjadi pada variasi waktu detensi hari ke dua dengan kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk persentase penurunan konsentrasi COD tertinggi sebesar 88,06 % terjadi pada variasi waktu detensi hari ke enam dengan kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2. Analisis ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perbedaan perlakuan terhadap persentase konsentrasi akhir COD, maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor dengan menggunakan program minitab 14.

a) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi COD. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi COD.**

<b>One-way ANOVA: % Penurunan Konsentrasi COD versus Variasi Kerapatan</b>					
Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi Kerapatan	2	6.6753	3.3377	85.74	0.000
Error	24	0.9343	0.0389		
Total	26	7.6096			

Keterangan : - DF : Derajat bebas - SS : Variasi residual  
 - MS : Mean square error - F : Nilai statistik uji  
 - P : Nilai probabilitas

**Hipotesis :**

- $H_0 = Ke-9$  variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1 = Ke-9$  variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

Dasar pengambilan keputusan :

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  diterima.

Keputusan :

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi kerapatan tumbuhan adalah 85,74. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik. Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi COD. Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.4) dimana P adalah sebesar 0,000 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 % (0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik. Artinya ada

perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi COD (Iriawan dan Astuti, 2006).

b). Uji ANOVA untuk pengaruh variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi COD. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi COD.**

<b>One-way ANOVA: % Penurunan Konsentrasi COD versus Waktu Detensi</b>					
Source	DF	SS	MS	F	P
Waktu Detensi	2	1.918	0.459	11.65	0.021
Error	24	6.691	0.279		
Total	26	7.610			

Keterangan : - DF : Derajat bebas - SS : Variasi residual  
 - MS : Mean square error - F : Nilai statistik uji  
 - P : Nilai probabilitas

**Hipotesis :**

- $H_0 = K_{e-9}$  variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1 = K_{e-9}$  variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

**Dasar pengambilan keputusan :**

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  diterima.

**Keputusan :**

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi waktu detensi adalah 11,65. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi COD . Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.5) dimana P adalah sebesar 0,021 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 %

(0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi COD (Iriawan dan Astuti, 2006).

#### 4.2.3. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara waktu detensi dan variasi kerapatan tumbuhan dengan persentase penurunan konsentrasi COD dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6. Korelasi Antara Waktu Detensi, Variasi Kerapatan dan Persentase Penurunan Konsentrasi COD**

<b>Correlations: % Penurunan Konsentrasi COD, Variasi Kerapatan, Waktu Detensi</b>			
	% Penurunan	Warna	Variasi
Variasi Kerapatan		0.936	
		0.000	
Waktu Detensi		0.338	0.000
		0.015	1.000
Cell Contents: Pearson correlation			
P-Value			

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu :

- Hasil analisis dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan adalah sebesar 0,936. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan adalah sebesar 0,936, maka dapat disimpulkan bahwa antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan secara statistik memiliki hubungan yang erat. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

### **Hipotesis**

$$H_0 : \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.6 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi kerapatan adalah  $0,000 < \alpha 5\%$ . Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara % penurunan COD dengan variasi kerapatan ada hubungan yang erat, yaitu sebesar 93,6 % (Iriawan dan Astuti, 2006).

- Hasil analisis dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,338. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,338, maka dapat disimpulkan bahwa antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi secara statistik memiliki hubungan yang erat. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

### **Hipotesis**

$$H_0 : \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.6 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi waktu detensi adalah  $0,015 < \alpha 5\%$ . Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara % penurunan COD dengan variasi waktu detensi, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara % penurunan COD dengan variasi

waktu detensi ada hubungan yang erat, yaitu sebesar 33,8 % (Iriawan dan Astuti, 2006).

#### 4.2.4. Analisis Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas (Variasi Kerapatan dan Waktu detensi) ) dan variabel terikat (% penurunan konsentrasi COD) digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan data atau signifikansi prediksi dari hubungan/ korelasi data. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8.

**Tabel 4.7. Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD**

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	84.3019	0.0576	1463.05	0.000
Variasi Kerapatan	0.060889	0.001267	48.04	0.000
Waktu Detensi	0.109722	0.006337	17.31	0.000

S = 0.05377                      R-Sq = 99.1%                      R-Sq(adj) = 99.0%

The regression equation is  
 % Penurunan Konsentrasi COD = 84.3 + 0.0609 Variasi Kerapatan  
 + 0.110 Waktu Detensi

**Tabel 4.8. Hasil Uji Kelinearan Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	7.5402	3.7701	1303.75	0.000
Residual Error	24	0.0694	0.0029		
Total	26	7.6096			

#### 1). Persamaan Regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada Tabel 4.7 maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 84,3 + 0,0609 X_1 + 0,110 X_2$$

Dimana :

$$Y = \text{Persentase Penurunan Konsentrasi COD (\%)}$$

$X_1 =$  Variasi Kerapatan ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )

$X_2 =$  Variasi Waktu Detensi (Hari)

Adapun interpretasi dari persamaan diatas adalah :

- $Y = 84,3$

Nilai konstan ini menunjukkan bahwa apabila variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi adalah konstan atau bernilai nol ( $X_1$  dan  $X_2 = 0$ ), maka persentase penurunan konsentrasi COD adalah sebesar 84,3 %.

- $X_1 = 0,0609$

Nilai parameter atau koefisien  $X_1$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi kerapatan, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan meningkat sebesar 0,0609 %.

- $X_2 = 0,110$

Nilai parameter atau koefisien  $X_2$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan meningkat sebesar 0,110 %.

## 2). Uji signifikan koefisien regresi

Hipotesis :

- $H_0 =$  Koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1 =$  Koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan :

### a) Berdasarkan nilai T.

Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung  $<$  statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung  $>$  statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Nilai t tabel adalah 2,064 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.7 adalah 48,04 (Variasi kerapatan ) dan 17,31 ( Variasi waktu detensi).

Semua nilai t hitung lebih besar dari t tabel, maka koefisien regresi adalah signifikan.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.7 nilai P untuk variasi kerapatan adalah 0,000 dan untuk variasi waktu detensi adalah 0,000 yang artinya probabilitas lebih kecil dari  $\alpha$  5 %. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, dan koefisien regresi signifikan, atau variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap persentase penurunan konsentrasi COD.

3). Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 99,1 % hal ini berarti 99,1 persentase penurunan COD dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan dan variasi waktu detensi. Sedangkan sisanya 0,9 % dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4). Uji Kelinearan

Hipotesis :

- $H_0$  = Y tidak memiliki hubungan linear dengan X
- $H_1$  = Y memiliki hubungan linear dengan X

Dimana : Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a. Berdasarkan nilai F.

b. Penarikan Kesimpulan :

- Jika F hitung  $> F$  tabel,  $H_1$  diterima
- Jika F hitung  $< F$  tabel,  $H_0$  diterima

( Soleh, 2005)

Dari uji kelinieran pada tabel 4.8 didapat nilai F hitung sebesar 1303,75. Sedangkan nilai F tabel sebesar 3,40. Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulannya adalah Y (variabel terikat) memiliki hubungan liner dengan X (variabel bebas ). Atau dengan kata lain, persentase penurunan COD dengan variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai hubungan linier.

- c. Berdasarkan nilai probabilitas
- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima
  - Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.8 nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari  $\alpha$  5 %, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase penurunan COD.

### 4.3. Analisis Penurunan Konsentrasi Warna

#### 4.3.1. Analisis Deskriptif

Berdasarkan hasil penelitian analisis kandungan warna setelah proses pengolahan yang dilakukan pada variasi waktu detensi 2 hari, 4 hari, 6 hari dengan variasi kerapatan tumbuhan  $30\text{mg/cm}^2$ ,  $40\text{mg/cm}^2$  dan  $50\text{mg/cm}^2$ , dapat dilihat pada tabel 4.9.

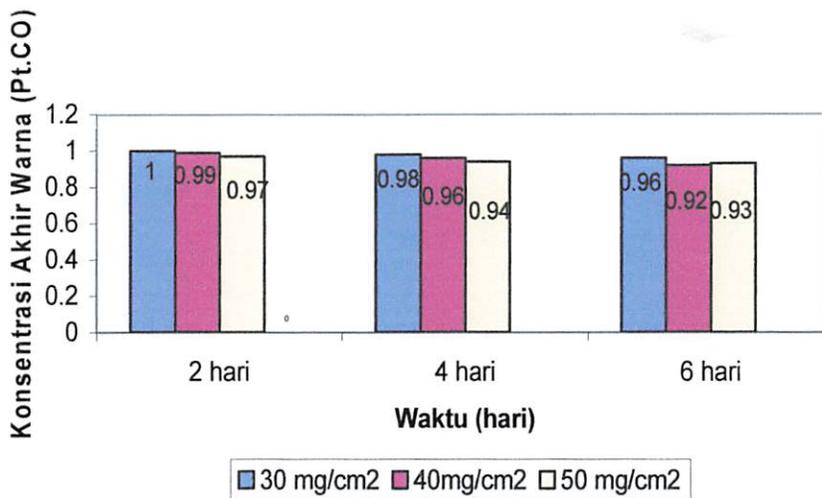
**Tabel 4.9. Konsentrasi Warna Setelah Proses Pengolahan**

Waktu detensi (hari)	Kerapatan Tanaman Kayu Apu ( $\text{mg/cm}^2$ )	Konsentrasi Warna (Pt-Co)
2	30 $\text{mg/cm}^2$	1
4		0,98
6		0,96
2	40 $\text{mg/cm}^2$	0,99
4		0,96
6		0,92
2	50 $\text{mg/cm}^2$	0,97
4		0,94
6		0,93

*Sumber : Penelitian*

Berdasarkan tabel 4.9. kandungan konsentrasi Warna terbesar adalah pada waktu detensi hari ke-2 dengan kerapatan  $30 \text{ mg/cm}^2$  sebesar 1,0 Pt-Co sedangkan kandungan konsentrasi Warna terendah adalah pada waktu detensi hari ke-6 dengan kerapatan tumbuhan  $40 \text{ mg/cm}^2$  sebesar 0,92 Pt-Co.

Dari tabel 4.9. dapat diplotkan pada grafik batang yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3. Grafik Penurunan Konsentrasi Warna Akhir Pengolahan**

Nilai persentase penurunan konsentrasi Warna setiap variasi kerapatan tumbuhan diketahui dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ Penurunan Warna} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

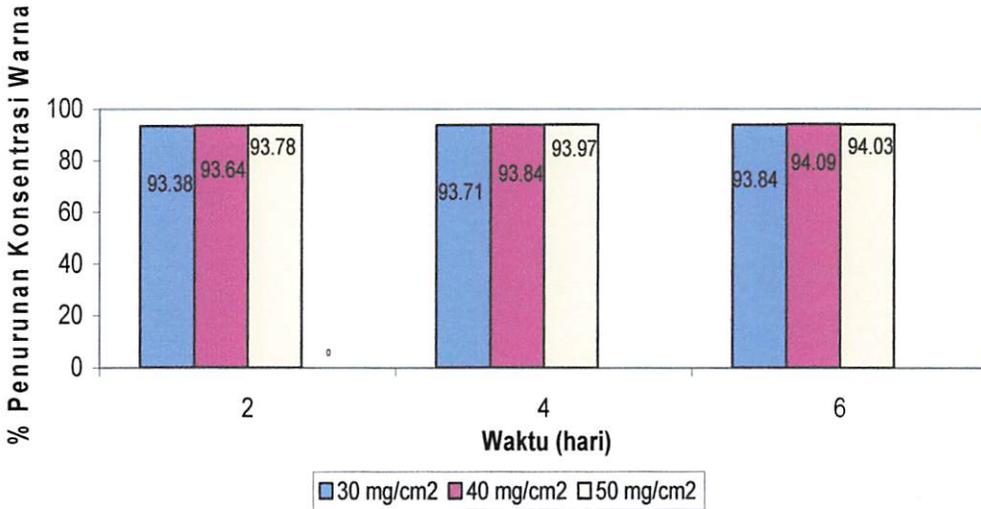
Hasil perhitungan persentase penurunan konsentrasi Warna dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10. Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

Waktu Detensi (hari)	Kerapatan Tanaman Kayu Apu (mg/cm <sup>2</sup> )	% Penurunan Konsentrasi Warna
2	30 mg/cm <sup>2</sup>	93,38
4		93,71
6		93,84
2	40 mg/cm <sup>2</sup>	93,64
4		93,84
6		94,09
2	50 mg/cm <sup>2</sup>	93,78
4		93,97
6		94,03

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel 4.10. dapat diplotkan pada grafik batang yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Warna Terhadap Waktu Detensi

Berdasarkan tabel 4.10. dan gambar 4.4. dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi Warna berada diantara 93,38 % - 94,09 %. Untuk persentase penurunan konsentrasi Warna terendah sebesar 93,38 % terjadi pada variasi waktu detensi hari ke-2 dengan kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk persentase penurunan konsentrasi Warna tertinggi sebesar 94,09 % terjadi pada variasi waktu detensi hari ke-6 dengan kerapatan tumbuhan 40 mg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.2. Analisis ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perbedaan perlakuan terhadap persentase konsentrasi akhir Warna, maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor dengan menggunakan program minitab 14.

- a) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi Warna. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11.

**Tabel 4.11. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

<b>One-way ANOVA: %Penurunan Warna versus Variasi Kerapatan</b>					
Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	2	0.0022	0.1011	8.12	0.002
Error	24	0.7297	0.0304		
Total	26	0.7319			

**Hipotesis :**

- $H_0$  = Ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1$  = Ke-9 variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

Dasar pengambilan keputusan :

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel (F tabel),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel (F tabel),  $H_0$  diterima.

Keputusan :

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi kerapatan tumbuhan adalah 8,12. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi warna.. Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.11) dimana nilai P adalah sebesar 0,002 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 % (0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap persentase penurunan konsentrasi warna (Iriawan dan Astuti, 2006).

- b) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi Warna. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

<b>One-way ANOVA: %Penurunan Warna versus Waktu Detensi</b>					
Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	2	0.4677	0.2338	21.24	0.000
Error	24	0.2642	0.0110		
Total	26	0.7319			

**Hipotesis :**

- $H_0$  = Ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1$  = Ke-9 variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

Dasar pengambilan keputusan :

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel (F tabel),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel (F tabel),  $H_0$  diterima.

Keputusan :

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi waktu detensi adalah 21,24. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi warna. Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.12) dimana P adalah sebesar 0,000 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 % (0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap persentase penurunan konsentrasi warna (Iriawan dan Astuti, 2006).

### 4.3.3. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi dengan persentase penurunan konsentrasi warna dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13. Korelasi Antara Variasi Kerapatan Tumbuhan, Waktu Detensi dan Persentase Penurunan Kosentrasi Warna**

<b>Correlations: %Penurunan Warna, Variasi Kerapatan, Variasi Waktu Detensi</b>			
	% Penurunan Warna	Variasi	
Variasi Kerapatan	0.456		
	0.027		
Waktu Detensi	0.799	0.000	
	0.000	1.000	
Cell Contents: Pearson correlation			
P-Value			

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu :

- Hasil analisis dari tabel 4.13 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan adalah sebesar 0,456. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan adalah sebesar 0,456, maka dapat disimpulkan bahwa antara persentase penurunan warna dengan variasi kerapatan secara statistik memiliki hubungan yang erat. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

### **Hipotesis**

$$H_0: \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1: \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.13 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi kerapatan adalah  $0,027 < \alpha$  5%. Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara persentase penurunan Warna dengan variasi kerapatan ada hubungan yang erat, yaitu sebesar 45,6 % (Iriawan dan Astuti, 2006).

- Hasil analisis dari Tabel 4.13 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,799. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,799, maka dapat disimpulkan bahwa antara persentase penurunan warna dengan variasi waktu detensi secara statistik memiliki hubungan yang erat. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

### **Hipotesis**

$$H_0: \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1: \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.13 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi waktu detensi adalah  $0,000 < \alpha$  5%. Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya

adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara persentase penurunan Warna dengan variasi waktu detensi ada hubungan yang erat, yaitu sebesar 79,9 % (Iriawan dan Astuti, 2006).

#### 4.3.4. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel variasi kerapatan tumbuhan, dan waktu detensi terhadap variabel persentase penurunan konsentrasi warna. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan 4.15.

**Tabel 4.14. Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	93.5485	0.1122	833.64	0.000
Variasi	-0.000889	0.002468	-0.36	0.022
Variasi	0.08056	0.01234	6.53	0.000

S = 0.1047      R-Sq = 64.0%      R-Sq(adj) = 61.0%

The regression equation is  
 % Penurunan Warna = 93.5 - 0.00089 Variasi Kerapatan  
 + 0.0806 Variasi Waktu Detensi

**Tabel 4.15. Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.46864	0.23432	21.36	0.000
Residual Error	24	0.26323	0.01097		
Total	26	0.73187			

#### 1). Persamaan Regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada Tabel 4.7 maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 93,5 - 0,00089 X_1 + 0,0806 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penurunan Konsentrasi Warna (%)

$X_1$  = Variasi Kerapatan ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )

$X_2$  = Variasi Waktu Detensi (Hari)

Adapun interpretasi dari persamaan diatas adalah :

- $Y = 93,5$

Nilai konstan ini menunjukkan bahwa apabila variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi adalah konstan atau bernilai nol ( $X_1$  dan  $X_2 = 0$ ), maka persentase penurunan konsentrasi warna adalah sebesar 93,5 %.

- $X_1 = 0,00089$

Nilai parameter atau koefisien  $X_1$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi kerapatan, maka persentase penurunan konsentrasi warna akan menurun sebesar 0,00089%.

- $X_2 = 0,0806$

Nilai parameter atau koefisien  $X_2$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi warna akan meningkat sebesar 0,0806 %.

## 2). Uji signifikan koefisien regresi

Hipotesis :

- $H_0$  = Koefisien regresi tidak signifikan

- $H_1$  = Koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan :

a. Berdasarkan nilai T.

Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.

Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 2,064 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.14 adalah -0,36 (Variasi kerapatan) < t tabel maka koefisien

tidak signifikan dan  $6,53$  ( Variasi waktu detensi)  $> t$  tabel, maka koefisien regresi adalah signifikan.

b. Berdasarkan nilai probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.14 nilai P untuk variasi kerapatan adalah  $0,022$  dan untuk variasi waktu detensi adalah  $0,000$  yang artinya probabilitas lebih kecil dari  $\alpha 5\%$ . Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, dan koefisien regresi signifikan, atau variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap persentase penurunan konsentrasi warna.

3). Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R square sebesar  $64\%$  hal ini berarti  $64\%$  persentase penurunan COD dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan dan variasi waktu detensi. Sedangkan sisanya  $36\%$  dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4). Uji Kelinearan

Hipotesis :

- $H_0 = Y$  tidak memiliki hubungan linear dengan  $X$
- $H_1 = Y$  memiliki hubungan linear dengan  $X$

Dimana :  $Y$  adalah variabel terikat dan  $X$  adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a. Berdasarkan nilai F.

b. Penarikan Kesimpulan :

- Jika F hitung  $> F$  tabel,  $H_1$  diterima
- Jika F hitung  $< F$  tabel,  $H_0$  diterima

( Soleh, 2005)

Dari uji kelinieran pada tabel 4.15 didapat nilai F hitung sebesar  $21,36$ . Sedangkan nilai F tabel sebesar  $3,40$ . Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulannya adalah  $Y$  (variabel terikat) memiliki hubungan liner dengan  $X$  (variabel bebas ). Atau dengan kata

lain, persentase penurunan warna dengan variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai hubungan linier.

c. Berdasarkan nilai probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.15 nilai probabilitas 0,000, lebih kecil dari  $\alpha$  5 %, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase penurunan warna.

#### 4.4. Analisis Pertumbuhan Tanaman

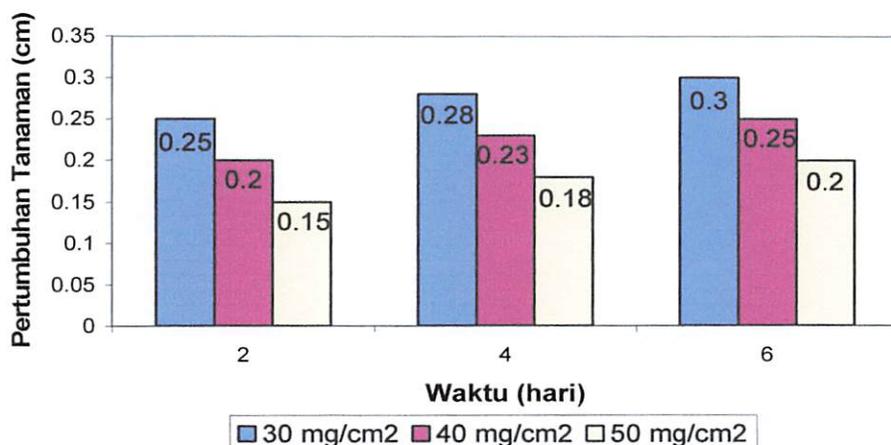
**Tabel 4.16. Nilai Pertumbuhan Tanaman (Relatif Growth Rate)**

Hari ke -	Variasi Kerapatan ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	Pertumbuhan Tanaman (cm)
2	30	0,25
	40	0,20
	50	0,15
4	30	0,28
	40	0,23
	50	0,18
6	30	0,30
	40	0,25
	50	0,20

Keterangan : Analisis pertumbuhan tanaman dilihat berdasarkan lebar Kayu apu (*Pistia Stratiotes, L.*)

#### 4.4.1. Analisis Deskriptif

Berdasarkan hasil penelitian analisis pertumbuhan tanaman (Relative Growth Rate) pada tanaman kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) dapat dilihat pada tabel 4.16 yang diplotkan pada gambar 4.5 berikut ini :



**Gambar 4.5 Grafik Pertumbuhan Tanaman (Relative Growth Rate) Kayu apu**

Berdasarkan tabel 4.16 dan gambar 4.5 menunjukkan dari hari ke-2 pada tumbuhan kayu apu sudah terjadi proses pertumbuhan, untuk variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup> pertumbuhannya sebesar 0,25 cm, untuk variasi kerapatan tumbuhan 40 mg/cm<sup>2</sup> pertumbuhannya sebesar 0,20 cm dan untuk variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> pertumbuhannya sebesar 0,15 cm. Begitu juga pada hari ke-4 sampai dengan hari ke-6 proses pertumbuhan kayu apu tetap berjalan. Pada hari ke-6 pertumbuhan tanaman kayu apu untuk variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 0,30 cm, untuk variasi kerapatan tumbuhan 40mg/cm<sup>2</sup> sebesar 0,25 cm dan untuk variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 0,20 cm.

#### 4.4.2. Analisis ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perbedaan antara variasi kerapatan tumbuhan, waktu detensi terhadap pertumbuhan tanaman, maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor dengan menggunakan program minitab 14. Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18.

- a) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.17.

**Tabel 4.17. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tumbuhan Terhadap Pertumbuhan Tanaman**

<b>One-way ANOVA: Pertumbuhan Tanaman versus Variasi Kerapatan</b>						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Variasi Kerapatan	2	0.045000	0.022500	45.35	0.000	
Error	24	0.011908	0.000496			
Total	26	0.056908				

**Hipotesis :**

- $H_0 = Ke-9$  variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1 = Ke-9$  variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

Dasar pengambilan keputusan :

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  diterima.

**Keputusan :**

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi kerapatan tumbuhan adalah 45,35. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap pertumbuhan tanaman. Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.17) dimana nilai P adalah sebesar 0,000 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 % (0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi kerapatan terhadap pertumbuhan tanaman (Iriawan dan Astuti, 2006).

b) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.18.

**Tabel 4.18. Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Waktu Detensi Terhadap Pertumbuhan Tanaman**

<b>One-way ANOVA: Pertumbuhan Tanaman versus Waktu Detensi</b>					
Source	DF	SS	MS	F	P
Waktu Detensi	2	0.01140	0.00570	5.01	0.018
Error	24	0.04551	0.00190		
Total	26	0.05691			

**Hipotesis :**

- $H_0$  = Ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik
- $H_1$  = Ke-9 variasi adalah berbeda nyata/tidak identik

**Dasar pengambilan keputusan :**

- Jika statistik hitung ( angka F output ) > statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung ( angka F output ) < statistik tabel ( tabel F ),  $H_0$  diterima.

**Keputusan :**

Terlihat bahwa F hitung dari output untuk variasi waktu detensi adalah 5,01. Jika melihat tabel distribusi F dengan  $\alpha = 5\%$  maka nilai  $F_{(5\%,2,24)} = 3,40$  Karena nilai F hitung lebih besar dari  $F_{(5\%,2,24)}$ , maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap pertumbuhan tanaman. Apabila menggunakan nilai probabilitas (tabel 4.18) dimana P adalah sebesar 0,018 kurang dari  $\alpha$  level toleransi 5 % (0,05), maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa ke-9 variasi adalah tidak berbeda nyata/identik, Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi waktu detensi terhadap pertumbuhan tanaman (Iriawan dan Astuti, 2006).

#### 4.4.3. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara waktu detensi, dan variasi kerapatan dengan pertumbuhan tanaman dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada tabel 4.19.

**Tabel 4.19. Korelasi Antara Variasi Kerapatan Tumbuhan, Variasi Waktu Detensi dan Pertumbuhan Tanaman.**

<b>Correlations: Pertumbuhan Tanaman, Variasi Kerapatan, Waktu Detensi</b>			
	Pertumbuhan Tanaman	Variasi Kerapatan	
Variasi Kerapatan	-0.889		
	0.000		
Waktu Detensi	0.445	0.000	
	0.020	1.000	
Cell Contents:	Pearson correlation		
	P-Value		

Tabel 4.19 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu :

- Hasil analisis dari tabel 4.19 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan adalah sebesar -0,889. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan adalah sebesar -0,889, maka dapat disimpulkan bahwa antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan secara statistik tidak memiliki hubungan yang erat yang ditandai dengan adanya nilai negatif. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

#### **Hipotesis**

$$H_0 : \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara Pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.19 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi kerapatan adalah  $0,000 < \alpha 5\%$ . Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan secara statistik tidak memiliki hubungan yang erat (Iriawan dan Astuti, 2006).

- Hasil analisis dari tabel 4.19 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,445. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, apabila nilai korelasi pearson semakin mendekati 1 atau -1, berarti hubungan antara variabel semakin erat. Karena nilai korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi adalah sebesar 0,445, maka dapat disimpulkan bahwa antara pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi secara statistik memiliki hubungan yang erat. Agar lebih menyakinkan, kita perlu melakukan uji atas hipotesis.

### **Hipotesis**

$$H_0 : \rho = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \rho \neq 0$$

Dalam hal ini, hipotesis awal adalah tidak ada korelasi antara Pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi, sedangkan hipotesis alternatifnya menyatakan ada korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi. Hasil analisis korelasi pada tabel 4.19 memperlihatkan bahwa nilai p-value dari variasi kerapatan adalah  $0,020 < \alpha 5\%$ . Karena p-value jatuh di daerah penolakan, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal yang mengatakan bahwa tidak ada korelasi antara pertumbuhan tanaman dengan variasi waktu detensi, dan menerima hipotesis alternatif. Oleh karena itu, kesimpulan yang didapat dari uji hipotesis adalah antara pertumbuhan tanaman

dengan variasi waktu detensi secara statistik memiliki hubungan yang erat (Iriawan dan Astuti, 2006).

#### 4.4.4. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel variasi kerapatan tumbuhan, dan waktu detensi terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 4.20 dan 4.21

**Tabel 4.20. Koefisien Persamaan Regresi Pertumbuhan Tanaman**

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.376667	0.005611	67.14	0.000
Variasi Kerapatan	-0.0050000	0.0001234	-40.51	0.000
Waktu Detensi	0.0125000	0.0006171	20.26	0.000

S = 0.005236                      R-Sq = 98.8%                      R-Sq(adj) = 98.7%

The regression equation is  
 Pertumbuhan Tanaman = 0.377 - 0.00500 Variasi Kerapatan  
 + 0.0125 Waktu Detensi

**Tabel 4.21. Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Pertumbuhan Tanaman**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.056250	0.028125	1025.84	0.000
Residual Error	24	0.000658	0.000027		
Total	26	0.056908			

#### 1). Persamaan Regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada Tabel 4.7 maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 0,377 - 0,00500 X_1 + 0,0125 X_2$$

Dimana :

Y = Pertumbuhan Tanaman (cm)

X<sub>1</sub> = Variasi Kerapatan (mg/cm<sup>2</sup>)

X<sub>2</sub> = Variasi Waktu Detensi (Hari)

Adapun interpretasi dari persamaan diatas adalah :

- $Y = 0,377$   
Nilai konstan ini menunjukkan bahwa apabila variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi adalah konstan atau bernilai nol ( $X_1$  dan  $X_2 = 0$ ), maka pertumbuhan tanaman adalah sebesar 0,377 cm.
- $X_1 = - 0,00500$   
Nilai parameter atau koefisien  $X_1$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi kerapatan, maka pertumbuhan tanaman akan menurun sebesar 0,00500 cm.
- $X_2 = 0,0125$   
Nilai parameter atau koefisien  $X_2$  menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi waktu detensi, maka pertumbuhan tanaman akan meningkat sebesar 0,0125 cm.

## 2). Uji signifikan koefisien regresi

Hipotesis :

- $H_0$  = Koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = Koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan :

### a) Berdasarkan nilai T.

Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 2,064 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.20 adalah -40,51 (Variasi kerapatan ) dan 20,26 ( Variasi waktu detensi). Nilai t hitung untuk variasi kerapatan lebih kecil dari t tabel, maka koefisien regresi tidak signifikan, sedangkan nilai t hitung untuk variasi waktu detensi lebih besar dari t tabel, maka koefisien regresi signifikan.

### b) Berdasarkan nilai probabilitas

- Jika probabilitas > 0,05,  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas < 0,05,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.20 nilai P untuk variasi kerapatan adalah 0,000 dan untuk variasi waktu detensi adalah 0,000 yang artinya probabilitas lebih kecil dari  $\alpha$  5 %. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, dan koefisien regresi signifikan, atau variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap pertumbuhan tanaman.

### 3). Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 98,8 % hal ini berarti 98,8 pertumbuhan tanaman dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan dan variasi waktu detensi. Sedangkan sisanya 1,2 % dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

### 4). Uji Kelinearan

Hipotesis :

- $H_0$  = Y tidak memiliki hubungan linear dengan X
- $H_1$  = Y memiliki hubungan linear dengan X

Dimana : Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a) Berdasarkan nilai F.

b) Penarikan Kesimpulan :

- Jika F hitung  $>$  F tabel,  $H_1$  diterima
- Jika F hitung  $<$  F tabel,  $H_0$  diterima

( Soleh, 2005)

Dari uji kelinieran pada tabel 4.21 didapat nilai F hitung sebesar 1025,84. Sedangkan nilai F tabel sebesar 3,40. Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulannya adalah Y (variabel terikat) memiliki hubungan liner dengan X (variabel bebas ). Atau dengan kata lain, pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan dan variasi waktu detensi mempunyai hubungan linier.

c). Berdasarkan nilai probabilitas

- Jika probabilitas  $>$  0,05,  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $<$  0,05,  $H_0$  ditolak

Pada tabel 4.21 nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari  $\alpha$  5 %, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi pertumbuhan tanaman.

## **4.5. Pembahasan**

### **4.5.1. Aklimatisasi**

Aklimatisasi adalah suatu proses penyesuaian diri oleh mikroorganisme maupun tumbuhan air terhadap limbah yang mengandung bahan pencemar. Sebelum diaplikasikan untuk mengolah air limbah terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi terhadap tumbuhan kayu apu dengan air limbah industri tekstil yang mengandung bahan pencemar, seperti COD dan Warna. Tujuannya adalah agar tumbuhan kayu apu dapat menyesuaikan diri dengan air limbah tekstil yang nanti akan menjadi media tempat tumbuhnya. Pada penelitian ini dilakukan aklimatisasi terhadap tanaman kayu apu selama 5 hari dengan perbandingan air limbah dan air pengencer adalah 1:2 (1 liter air limbah dan 2 liter air pengencer/air aquadest). Selama proses aklimatisasi berlangsung tanaman kayu apu dapat tumbuh dengan baik dan mulai menggandakan dirinya menjadi roset-roset yang baru pada media tanam. Setelah proses aklimatisasi selesai, dipilih tanaman kayu apu yang sehat dan segar dan mengaplikasikannya pada media tanam yang akan digunakan untuk penelitian.

### **4.5.2. Penurunan Konsentrasi COD**

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui, tumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) dapat menurunkan konsentrasi COD dari 1088,5 mg/l menjadi 130 mg/L pada kerapatan 50 mg/cm<sup>2</sup> dengan waktu detensi 6 hari. Berdasarkan tabel 4.4 hasil analisis ANOVA, yaitu dengan nilai p-value  $0,000 < \alpha$  5%, dapat dikatakan bahwa kayu apu mampu menyerap bahan organik seperti COD yang ada dalam air limbah tekstil melalui akar dengan bantuan mikroorganisme dengan baik sampai dengan konsentrasi yang sesuai baku mutu air limbah untuk industri tekstil yaitu sebesar 150 mg/l.

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 4.2 persentase tertinggi penurunan konsentrasi COD pada tumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) terjadi pada hari ke-6 dengan variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 88,06%. Hal ini membuktikan bahwa pada hari ke-6 kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) sudah mampu menurunkan konsentrasi COD secara maksimal. Lamanya waktu detensi mempengaruhi persentase penurunan konsentrasi COD, yaitu semakin lama waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan semakin tinggi pula.

Penurunan konsentrasi COD terbesar terjadi pada variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> dengan waktu detensi 6 hari, yaitu 130 mg/l. Hal ini terjadi oleh semakin banyak tumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) yang terdapat pada reaktor maka kemampuan tumbuhan untuk menyerap konsentrasi COD akan semakin besar (Subrata, 2007) dengan catatan bahwa luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) sehingga tumbuhan tidak saling tumpang tindih. Dalam pengolahan air limbah dengan menggunakan tumbuhan air, luas permukaan reaktor harus disesuaikan, karena apabila tidak disesuaikan akan menimbulkan pendangkalan dan dapat menyebabkan kenaikan konsentrasi air limbah dalam reaktor. Dalam penelitian ini, tumbuhan kayu apu masih bisa tumbuh dengan baik hingga hari ke-6 waktu pengambilan sampel karena luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan kayu apu.

Berdasarkan tabel 4.6 terlihat bahwa persentase penurunan konsentrasi COD dengan variasi kerapatan tumbuhan adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,000 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). Hubungan antara variasi kerapatan dengan persentase penurunan konsentrasi COD ini searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar variasi kerapatan tumbuhan maka persentase penurunan konsentrasi COD akan semakin meningkat begitu juga sebaliknya. Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi kerapatan tumbuhan mempengaruhi tingkat efisiensi penurunan konsentrasi COD pada air limbah.

Berdasarkan hasil analisis regresi dapat diketahui bahwa waktu detensi memberikan pengaruh terhadap kesempatan tumbuhan uji untuk menyerap unsur-

unsur kimia dalam air limbah. Semakin tinggi kerapatan tumbuhan, maka semakin banyak pula unsur-unsur kimia yang terserap. Sehingga dengan bertambah lamanya waktu detensi dan bertambahnya kerapatan tumbuhan, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya. Menurut Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur, besarnya konsentrasi akhir COD limbah cair industri tekstil yang telah melalui pengolahan dengan proses penyerapan oleh tumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*, L) telah memenuhi standar baku mutu limbah cair bagi industri yaitu jauh dibawah 150 mg/L, sehingga aman dibuang ke badan air penerima.

#### **4.5.3. Penurunan Konsentrasi Warna**

Tumbuhan tidak memilih jenis unsur apa yang akan diserapnya, sehingga unsur hara yang terdapat pada media tanam langsung diserap tanpa diseleksi terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan tumbuhan tidak dapat memilih jenis unsur apa yang menguntungkan maupun yang merugikan baginya. Kecepatan penyerapan suatu unsur hara dipengaruhi oleh konsentrasi unsur hara tersebut dalam larutan yang akan diserapnya. Semakin tinggi konsentrasi unsur hara dalam larutan yang diserap, harus diimbangi dengan kecepatan penyerapan yang relatif tinggi. Kecepatan penyerapan suatu unsur hara berbeda pada tiap jenis, spesies dan varietas tumbuhan serta unsur hara yang ada, sehingga dalam penelitian ini konsentrasi air limbah yang mengandung COD dan warna mengalami penurunan karena zat organik yang terdapat dalam air limbah sebagian besar digunakan oleh tumbuhan sebagai unsur haranya.

Berdasarkan tabel 4.13 terlihat bahwa persentase penurunan konsentrasi warna dengan variasi kerapatan tumbuhan adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,027 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). Hubungan antara variasi kerapatan dengan persentase penurunan konsentrasi warna ini searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar variasi kerapatan tumbuhan maka persentase penurunan konsentrasi warna akan semakin meningkat begitu juga sebaliknya. Sedangkan hubungan antara persentase penurunan konsentrasi warna

dengan waktu detensi juga searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi yaitu sebesar  $0,000 < \alpha 5\%$ , yang berarti semakin lama waktu detensi maka persentase penurunan konsentrasi warna akan semakin meningkat, begitu juga sebaliknya. Semakin lama waktu detensi, maka semakin banyak pula kesempatan tumbuhan uji untuk menyerap unsur-unsur kimia dalam air limbah. Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi mempengaruhi tingkat efisiensi penurunan konsentrasi warna pada air limbah

Hasil analisis regresi berdasarkan tabel 4.14 dapat diketahui, bahwa antara variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penurunan konsentrasi warna, yaitu ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0,022 (variasi kerapatan) dan 0,000 (variasi waktu detensi) lebih kecil dari  $\alpha 5\%$ . Dari analisis regresi diketahui, bahwa 64 % data persentase penurunan konsentrasi warna dipengaruhi oleh variasi waktu detensi dan variasi kerapatan tumbuhan, semakin lama waktu detensi dan semakin besar variasi kerapatan tumbuhan dalam reaktor, maka semakin besar pula persentase penurunan konsentrasi warna. Sedangkan sisanya 36 % dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang tidak diukur dalam penelitian ini.

Semakin banyak jumlah kayu apu yang terdapat pada reaktor, maka kemampuannya untuk menyerap konsentrasi warna akan semakin besar, tetapi dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan kayu apu sehingga tumbuhan tidak saling tumpang tindih. Dalam pengolahan air limbah variasi kerapatan tumbuhan harus disesuaikan dengan luas permukaan dari reaktor, karena apabila tidak disesuaikan akan menimbulkan pendangkalan dan dapat menyebabkan kenaikan konsentrasi air limbah dalam reaktor. Dalam penelitian ini, tumbuhan kayu apu masih bisa tumbuh dengan baik hingga hari ke-6 waktu pengambilan sampel karena luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan kayu apu.

Konsentrasi warna pada variasi kerapatan tumbuhan  $40 \text{ mg/cm}^2$  lebih besar dibandingkan pada variasi kerapatan tumbuhan  $50 \text{ mg/cm}^2$ , dimana pada variasi kerapatan tumbuhan  $40 \text{ mg/cm}^2$  konsentrasi warna adalah sebesar 0,93 Pt-

CO dan pada variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> adalah sebesar 0,92 Pt-CO yaitu terjadi pada waktu pengambilan sampel hari ke-6, hal tersebut dapat terjadi karena adanya faktor lain yang terjadi tanpa disengaja.

#### **4.5.4. Hubungan COD dan Warna**

Warna didalam air disebabkan oleh zat warna yang berasal dari bahan organik maupun anorganik seperti ion-ion logam alam (besi dan mangan) dan senyawa kimia. Zat warna tekstil merupakan senyawa organik yang akan memberikan nilai COD. Penghilangan zat warna dari air limbah tekstil akan menurunkan COD dalam air limbah. Dalam penelitian ini air limbah tekstil yang mengandung zat warna sebanyak 15,59 Pt.CO mempunyai COD 1.088,5 mg/l, setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan tanaman kayu apu, maka air limbah tekstil tinggal mengandung zat warna 0,92 Pt.CO dan COD sebesar 130 mg/l. Dengan demikian apabila konsentrasi zat warna dalam air limbah yang diolah berkurang maka konsentrasi COD akan berkurang juga.

#### **4.5.5. Pertumbuhan Tanaman (Relative Growth Rate)**

Analisis tanaman ini dilakukan untuk mengetahui apakah tumbuhan yang digunakan dalam penelitian dapat tumbuh dengan baik dilingkungan tumbuhnya (media tanam) atau tidak, karena media tanam yang digunakan mengandung bahan-bahan pencemar, dimana bahan pencemar tersebut apabila berada di alam secara berlebihan tanpa diolah terlebih dahulu dapat mengakibatkan pencemaran. Cara analisis pertumbuhan tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*, L) yaitu dengan mengukur lebar daun dari tumbuhan.

Salah satu cara untuk menghitung pertumbuhan tanaman adalah dengan mengukur tinggi dan lebar tanaman, karena tinggi dan lebar tanaman merupakan ukuran tanaman yang paling sering diamati baik sebagai indikator pertumbuhan tanaman maupun sebagai parameter yang digunakan untuk mengukur pengaruh lingkungan atau perlakuan yang diterapkan. Ini didasarkan atas kenyataan bahwa tinggi dan lebar tanaman merupakan ukuran pertumbuhan yang paling mudah dilihat (Sitompul dan Guritno, 1995).

Berdasarkan tabel 4.16 dan gambar 4.5, dapat dinyatakan bahwa kayu apu bisa tumbuh dengan baik pada media tanam (reaktor) meskipun media tanam yang ditempati mengandung Konsentrasi COD dan warna yang cukup tinggi. Hal ini membuktikan bahwa tumbuhan kayu apu mempunyai toleransi yang lebih tinggi terhadap bahan organik yang berlebih walaupun hidup pada air limbah yang terkontaminasi oleh bahan pencemar dimana terdapat kandungan COD yang tinggi.

Berdasarkan tabel 4.16, terlihat bahwa mulai dari hari ke-2, 4 dan ke-6 waktu pengambilan sampel dengan variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup>, 40 mg/cm<sup>2</sup> dan 50 mg/cm<sup>2</sup>, pertumbuhan kayu apu meningkat, sedangkan pertumbuhan tanaman yang paling baik terjadi pada variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm<sup>2</sup> dengan waktu detensi hari ke-6 yaitu sebesar 0,30 cm, hal ini dapat disebabkan oleh jumlah tumbuhan kayu apu dalam reaktor belum terlalu padat sehingga pengambilan unsur-unsur nutrisi oleh mikroorganisme pada media tanam masih dapat diserap secara maksimal oleh tumbuhan untuk proses pertumbuhannya. Sedangkan pada variasi kerapatan tumbuhan 40 mg/cm<sup>2</sup> dan variasi kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>, kerapatan tumbuhan kayu apu lebih tinggi dan jumlah tanaman lebih padat, sehingga pengambilan nutrisi oleh mikroorganisme pada media tanam lebih besar dimana akan mempengaruhi proses pertumbuhan tumbuhan itu sendiri, oleh karena itu pertumbuhan kayu apu tidak terlalu besar. Menurut (Sitompul dan Guritno, 1995) mengatakan bahwa makin rapat tumbuhan yang ada disuatu area, maka kompetisi yang terjadi untuk mendapatkan nutrisi semakin besar, sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan dari tumbuhan itu sendiri.

Berdasarkan tabel 4.19 dapat dikatakan bahwa pertumbuhan tanaman dengan variasi kerapatan tumbuhan adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,000 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). Hubungan antara variasi kerapatan dengan pertumbuhan tanaman ini tidak searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai negatif pada nilai koefisien korelasi yaitu sebesar -0,889, yang berarti semakin besar variasi kerapatan tumbuhan maka pertumbuhan tanaman tidak maksimal begitu juga sebaliknya. Sedangkan hubungan antara pertumbuhan tanaman dengan waktu detensi searah, hal ini

ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi yaitu sebesar  $0,020 < \alpha 5\%$ , yang berarti semakin lama waktu detensi maka pertumbuhan tanaman akan maksimal, begitu juga sebaliknya.

Berdasarkan analisis regresi dapat diketahui, bahwa setiap peningkatan satu satuan variasi waktu detensi maka pertumbuhan tanaman akan naik sebesar 0,012 dan setiap peningkatan satu satuan variasi kerapatan tumbuhan maka pertumbuhan kayu apu akan menurun sebesar 0,005. Dari hasil analisis regresi dapat diketahui bahwa 98,8 % data pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh variasi waktu detensi dan variasi kerapatan tumbuhan, semakin lama waktu detensi serta variasi kerapatan tumbuhan dalam reaktor tidak mengalami peningkatan, maka pertumbuhan tanaman akan berjalan dengan baik. Sedangkan sisanya 2,7 % dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang tidak diukur dalam penelitian ini.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Pada hasil penelitian terjadi kenaikan konsentrasi warna yaitu pada kerapatan 40 mg/cm<sup>2</sup> kemudian pada kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup> terjadi penurunan konsentrasi warna, semestinya yang terjadi konsentrasi warna mengalami penurunan, hal ini terjadi karena adanya faktor lain yang tidak disengaja seperti cara pengambilan sampel.

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Pemanfaatan tumbuhan kayu apu (*Pistia Stratiotes*) dalam menurunkan kandungan COD dan Warna pada limbah industri tekstil cukup baik, dimana :
  - Persentase penurunan konsentrasi COD tertinggi adalah 88,06% dengan konsentrasi akhir sebesar 130 mg/l yaitu terjadi pada waktu detensi 6 hari dengan kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>.
  - Persentase penurunan konsentrasi warna tertinggi adalah 94,09% dengan konsentrasi akhir sebesar 0,92 Pt.Co yaitu terjadi pada waktu detensi 6 hari dengan kerapatan tumbuhan 40 mg/cm<sup>2</sup>.
2. Dengan debit air limbah 22,5L dan luas reaktor 1500 cm<sup>2</sup>, tumbuhan kayu apu masih dapat tumbuh hingga hari terakhir perlakuan, hal ini dapat dilihat pada pertumbuhan kayu apu (lebar daunnya) yaitu sebesar 0,20 cm pada waktu detensi 6 hari dengan kerapatan tumbuhan 50 mg/cm<sup>2</sup>.

#### **5.2. Saran**

Adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Dengan penelitian yang sama, tidak perlu melakukan penambahan variasi kerapatan tumbuhan lebih dari 50 mg/cm<sup>2</sup>.
2. Untuk industri yang menghasilkan limbah COD dan warna seperti industri tekstil, dalam pengolahan limbah bisa memanfaatkan tumbuhan kayu apu untuk menurunkan konsentrasi COD dan warna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts. G. dan Sumestri S. 1987. "*Metode Penelitian Air*". Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- Anonim. 2003. *Water Gardening. nShare Digital Media*. <http://www.denverplants.com/wgard/html/lacate.htm>. diakses tanggal 20 Mei 2008 pada jam 07.15 Am.
- APHA, AWWA, WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*. 18<sup>th</sup> edition. Washington.
- Wardhana Arya, Wisnu. 2001. "*Dampak Pencemaran Lingkungan*". Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Djukri dan Purwoko. 2003. *Pengaruh Naungan Paranet Terhadap Sifat Toleransi Tanaman Talas (Colocasia seculenta (L.)Schoot)*. Dalam 3\_djukri\_talas.pdf. diakses 14 Mei 2008 pada jam 07:20 Am.
- Hamamah, Fatin dan Trihadiningrum, Yulianah. "*Penyisihan Fenol Pada Limbah Industri Dari PT XYZ Dengan Eceng Gondok (Echorhia Crassipes)*" <http://www.mmt.its.ac.id/library/wp-content/uploads/2008/06/20/3-fatin.pdf>. diakses tanggal 20 September 2008 pada jam 07.36 Am
- Iriawan, Nur dan Astuti, Puji Septi. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Andi. Yogyakarta.
- Irwan, Lalu. 2005. "*Uji Kemampuan Kayu apu (Pistia Stratiotes L.) Dalam Menurunkan Konsentrasi Krom dan BOD pada Limbah Penyamakan Kulit*". Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Kusumah, M.W. 1995. *Biokimia: Metabolisme Energi, Karbohidrat, dan Lipid*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Lakitan, Benyamin. 2007. "*Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*". Penerbit PT RajaGrafindo Persada. Jakarta.

- Sari Mekar, Peni. 1999. "**Studi Pemanfaatan Kayu Apu Untuk Menurunkan COD, N dan P pada Air Limbah Pabrik Tahu**". Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Metcalf & Eddy, 2003. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. McGraw Hill Book Co. Singapura.
- Prayitno, Sugeng. 2002. **Uji Kemampuan RBC (Rotating Biological Contactor) Dalam Menurunkan Kadar BOD dan SS pada Limbah Cair Industri Tekstil**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Rivers III. 2005. **L. Water Lettuce (Pistia stratiotes)**. <http://jeq.scijournals.org/cgi/content/full/31/2/690> . diakses tanggal 20 Mei 2008 pada jam 07:25 Am.
- Subrata, Yudha. 2007. "**Fitoremediasi Logam Berat Cu<sup>2+</sup> Pada Air Limbah Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dan Kayu Apu (Pistia stratiotes)**". Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Sudjadi. 2006. **Pengaturan Cahaya Lampu Sebagai Fotosintesis Phytoplankton Buatan Dengan Menggunakan Mikrokontroler At89s52**. <http://www.elektro.undip.ac.id/transmisi/jun05/sudjadijun05.PDF> . diakses tanggal 22 Mei 2008 pada jam 09:30 Am.
- Sudjana, 2002. **Metode Statistika**. Torsito. Bandung.
- Soleh, Zanbar Ahmad, 2005. "**Ilmu Statistik : Pendekatan Teoritis dan Aplikasi disertai Contoh Penggunaan SPSS**". Bandung, Rekayasa Teknik.
- Sitompul, S.M dan Guritno, B. 1995. "**Analisis Pertumbuhan Tumbuhan**". Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Wibowo Moerdoko, dkk, 1975. "**Evaluasi Tekstil Bagian Kimia**". Penerbit Institut Teknologi Tekstil, Bandung.

**LAMPIRAN**

**LAMPIRAN**

**DATA HASIL PENELITIAN**

## SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 069 S/LKA MLG/III/08

### IDENTITAS PEMILIK

#### *Owner Identity*

Nama  
Name

: Reni

Alamat  
Address

: Jl. Bendungan Wonogiri No 25 Malang

Halaman 1 dari 2

Page 1 of 2

### IDENTITAS CONTOH UJI

#### *Sample Identity*

Kode Contoh Uji  
Sample Code

: Ext. 60/PC/III/2008/99

Jenis Contoh Uji  
Type of Sample

: Sampel Air Limbah Tekstil

Lokasi Pengambilan Contoh Uji  
Sampling Location

: Pandaan

Petugas Pengambilan Contoh Uji  
Sampling Done By

: -

Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji  
Date Time of Sampling

: -

Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji  
Date Time of Sample Receiving in Laboratory

: 12 Maret 2008 Jam 11:20 WIB

Kondisi Contoh Uji  
Sample Condition (s)

: Keruh

### HASIL ANALISA

#### *Result of Analysis*

Terlampir  
Endclosed

Diterbitkan Di/ Tanggal : Malang, 17 Maret 2008  
Place/ Date of Issue

Laboratorium Kualitas Air  
Perum Jasa Tirta I



Inni Dian Rohani, ST

Kepala/Laboratorium  
Head of Laboratory

Contoh uji diambil oleh Reni pada tanggal 12 Maret 2008 Jam 09:15 WIB

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 069 S/LKA MLG/III/08

Kode Contoh Uji : Ext. 60/PC/III/2008/99  
*Sample Code*

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
*Sampling Method*

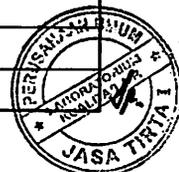
Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
*Place of Analysis*

Tanggal Analisa : 18 Pebruari 2008  
*Testing Date(s)*

## HASIL ANALISA

*Result of Analysis*

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>Sampel Air Limbah Tekstil</b>					
1	COD	mg/L	1 088,5	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	-
2	Warna	Pt.CO	15,59	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	



*Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1*

*Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1*

*This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation*

*This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation*



# LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976  
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134  
E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id



## SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 141-1 S/LKA MLG/V/08

### IDENTITAS PEMULIK

#### *Owner Identity*

Halaman 1 dari 2

Page 1 of 2

Nama : Renianti Galla  
Name  
Alamat : Jl. Bendungan Wonogiri No. 25 Malang  
Address

### IDENTITAS CONTOH UJI

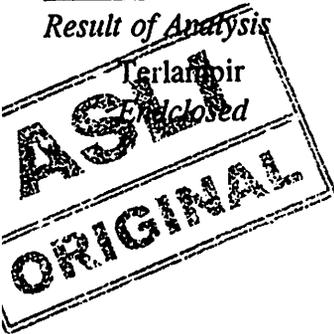
#### *Sample Identity*

Kode Contoh Uji : Ext. 187-195/PC/V/2008/265-273  
Sample Code  
Jenis Contoh Uji : Air Limbah  
Type of Sample  
Lokasi Pengambilan Contoh Uji : Malang  
Sampling Location  
Petugas Pengambilan Contoh Uji :  
Sampling Done By  
Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji :  
Date Time of Sampling  
Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji : 30 April 2008 Jam 10:00 WIB  
Date Time of Sample Receiving in Laboratory  
Kondisi Contoh Uji :  
Sample Condition (s)

### HASIL ANALISA

#### *Result of Analysis*

Diterbitkan Di/ Tanggal : Malang, 08 Mei 2008  
Place/ Date of Issue



Laboratorium Kualitas Air  
Perum Jasa Tirta I



Inna Dian Rohani, ST  
Kepala Laboratorium  
Head of Laboratory

oh uji diambil oleh Renianti Galala Tanggal Terlampir  
10:00 WIB

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 141-1 S/LKA MLG/V/08

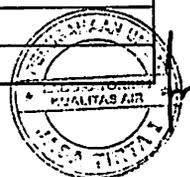
Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext 187-189/PC/IV/2008/265-267  
*Sample Code*  
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
*Sampling Method*  
 Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
*Place of Analysis*  
 Tanggal Analisa : 30 April - 02 Mei 2008  
*Testing Date(s)*

## HASIL ANALISA

### Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>Kode Sampel 30 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>2</sub></b>					
1	COD	mg/L	148,0	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	1,00	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 40 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>2</sub></b>					
1	COD	mg/L	142,0	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,99	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 50 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>2</sub></b>					
1	COD	mg/L	135,0	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,97	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-



Keterangan :  
 bahwa font. hasil ketilean antara Hal 1-3.  
 benar ? dari cetakan laboratorium lain  
 dan ketilean harap malleu.



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

Nomor : 141-1 S/LKA MLG/IV/08

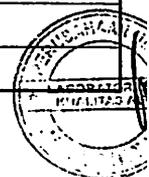
Halaman 3 dari 3  
 Page 3 of 3

Kode Contoh Uji : Ext 190-192/PC/IV/2008/268-270  
*Sample Code*  
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
*Sampling Method*  
 Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
*Place of Analysis*  
 Tanggal Analisa : 30 April - 02 Mei 2008  
*Testing Date(s)*

## HASIL ANALISA

### Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>Kode Sampel 30 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>4</sub></b>					
1	COD	mg/L	146,8	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,98	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 40 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>4</sub></b>					
1	COD	mg/L	140,2	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,96	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 50 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>4</sub></b>					
1	COD	mg/L	133,8	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,94	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

Nomor : 141-1 S/LKA MLG/V/08

Halaman 4 dari 4  
 Page 4 of 4

Kode Contoh Uji : Ext 193-195/PC/IV/2008/271-273  
*Sample Code*  
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
*Sampling Method*  
 Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
*Place of Analysis*  
 Tanggal Analisa : 30 April - 02 Mei 2008  
*Testing Date(s)*

## HASIL ANALISA

### Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>Kode Sampel 30 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>6</sub></b>					
1	COD	mg/L	143,7	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,96	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 40 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>6</sub></b>					
1	COD	mg/L	137,0	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,912	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-
<b>Kode Sampel 50 mg/cm<sup>2</sup>, H<sub>6</sub></b>					
1	COD	mg/L	130,0	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
2	Warna	Pt.CO	0,913	Q1/LKA/14 (Spektrofotometer)	-



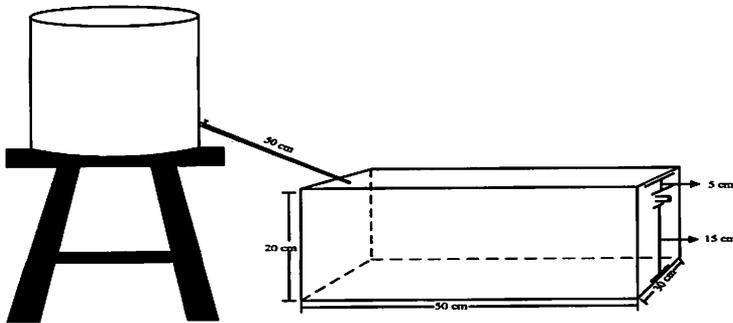
Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

## Volume tangki



Diketahui : Panjang bak = 50 cm

Lebar bak = 30 cm

Tinggi = 20 cm

1. untuk,  $t = 2$  hari, panjang = 50 cm, lebar = 30 cm, tinggi = 5 cm

$$\begin{aligned}V &= p \times l \times t \\&= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \\&= 7500 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= \frac{V}{t} = \frac{7500 \text{ cm}^3}{2 \text{ hari}} = 3750 \frac{\text{cm}^3}{\text{hari}} = 0,00375 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \\&= 3,75 \frac{\text{L}}{\text{hari}} = 0,156 \frac{\text{L}}{\text{jam}}\end{aligned}$$

2. untuk,  $t = 4$  hari, panjang = 50 cm, lebar = 30 cm, tinggi = 10 cm

$$\begin{aligned}V &= p \times l \times t \\&= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \\&= 15000 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= \frac{V}{t} = \frac{15000 \text{ cm}^3}{4 \text{ hari}} = 3750 \frac{\text{cm}^3}{\text{hari}} = 0,00375 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \\&= 3,75 \frac{\text{L}}{\text{hari}} = 0,156 \frac{\text{L}}{\text{jam}}\end{aligned}$$

3. untuk,  $t = 6$  hari, panjang = 50 cm, lebar = 30 cm, tinggi = 15 cm

$$\begin{aligned}V &= p \times l \times t \\&= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \\&= 22500 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{22500 \text{ cm}^3}{6 \text{ hari}} = 3750 \frac{\text{cm}^3}{\text{hari}} = 0,00375 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}$$

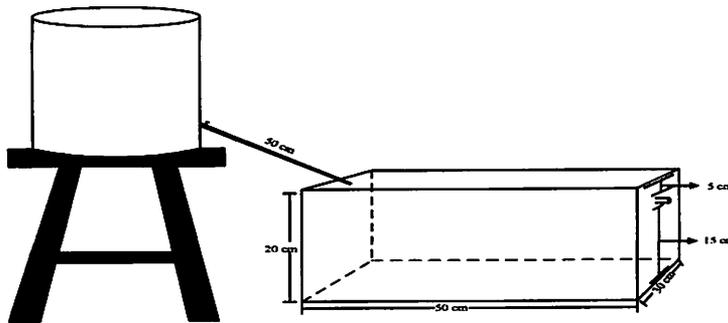
$$= 3.75 \frac{\text{L}}{\text{hari}} = 0,156 \frac{\text{L}}{\text{jam}}$$

Jadi volume keseluruhan yang dibutuhkan selama 6 hari adalah :

1 hari = 3.75 liter

6 hari = 6 x 3.75 liter = 22.5 liter utk 1 bak, 3bak x 22.5l = 67.5 = 80liter

☞ Cara perhitungan kerapatan tanaman :



**Sketsa reaktor**

1. Untuk kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup> :

$$\text{Luas reaktor} = p \times l = 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berattumbuhan}(\text{gr})}{\text{lebarreactor}}$$

$$30 \text{ mg/cm}^2 = \frac{x}{1500 \text{ cm}^2}$$

$$x = 45000 \text{ mg} = 45 \text{ gram}$$

Lalu Kayu apu ditimbang dengan menggunakan timbangan sehingga diperoleh jumlah tanaman Kayu apu sebesar 9 buah.

2. Untuk kerapatan 40 mg/cm<sup>2</sup> :

$$\text{Luas reaktor} = p \times l = 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berattumbuhan}(\text{gr})}{\text{luasreactor}}$$

$$40 \text{ mg/cm}^2 = \frac{x}{1500 \text{ cm}^2}$$

$$x = 60000 \text{ mg} = 60 \text{ gram}$$

Lalu Kayu apu ditimbang dengan menggunakan timbangan sehingga diperoleh jumlah tanaman Kayu apu sebesar 11 buah.

3. Untuk kerapatan  $50 \text{ mg/cm}^2$  :

$$\text{Luas reaktor} = p \times l = 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berat tumbuhan (gr)}}{\text{luas reaktor}}$$

$$50 \text{ mg/cm}^2 = \frac{x}{1500 \text{ cm}^2}$$

$$x = 75000 \text{ mg} = 75 \text{ gram}$$

Lalu Kayu apu ditimbang dengan menggunakan timbangan sehingga diperoleh jumlah tanaman Kayu apu sebesar 13 buah.

#### ↳ Analisa Pertumbuhan Tanaman

$$\text{RGR} = \frac{T_n - T_o}{\text{waktu}}$$

Dimana :

RGR = Relatif Growth Rate (cm)

$T_n$  = Tinggi Tumbuhan pada Waktu ke-n (cm)

$T_o$  = Tinggi Tumbuhan pada Waktu ke-o (cm)

n = waktu (hari)

Cara perhitungan nilai RGR (Relatif Growth Rate) di atas hanya berlaku pada tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok, pada Kayu apu berdasarkan lebarnya sedangkan pada Eceng gondok berdasarkan tingginya. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah Kayu apu.

▪ Hari ke-2

1. Kerapatan  $30 \text{ mg/cm}^2$ :  $\text{RGR} = \frac{5,9 - 5,4}{2} = 0,25$

2. Kerapatan  $40 \text{ mg/cm}^2$ :  $\text{RGR} = \frac{5,8 - 5,4}{2} = 0,20$

3. Kerapatan 50 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{5,7 - 5,4}{2} = 0,15$

▪ Hari ke-4

1. Kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{6,5 - 5,4}{4} = 0,28$

2. Kerapatan 40 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{6,3 - 5,4}{4} = 0,23$

3. Kerapatan 50 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{6,1 - 5,4}{4} = 0,18$

▪ Hari ke-6

1. Kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{7,2 - 5,4}{6} = 0,30$

2. Kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{6,9 - 5,4}{6} = 0,25$

3. Kerapatan 40 mg/cm<sup>2</sup> :  $RGR = \frac{6,6 - 5,4}{6} = 0,20$

⇒ **Data Penelitian Untuk pH dan Suhu**

Hari ke- (tanggal-bulan)	Variasi Kerapatan Tumbuhan (mg/cm <sup>2</sup> )	pH	Suhu (°C)
2 (30-April)	30	6,7	27
	40	6,8	27
	50	6,8	27
4 (02-mei)	30	6,7	26
	40	6,7	26
	50	6,7	27
6 (05-mei)	30	6,8	27
	40	6,8	28
	50	6,9	28

**Tabel Persentase Penurunan Konsentrasi COD**

Variasi Kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Konsentrasi Akhir COD (mg/L) Hari Ke -														
	2					4					6				
	I	II	III	Rata-rata	% Removal	I	II	III	Rata-rata	% Removal	I	II	III	Rata-rata	% Removal
30	148	147,9	148,1	148	86,40	147	146,8	146,6	146,8	86,51	143,6	143,9	143,6	143,7	86,80
40	141,9	142	142,1	142	87	139,8	140,1	140,7	140,2	87,20	137	136,7	137,2	137	87,42
50	134,8	135	135,2	135	87,06	133,8	133,9	133,7	133,8	87,71	130,1	129,7	130,2	130	88,06

**Tabel Persentase Penurunan Konsentrasi Warna**

Variasi Kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Konsentrasi Akhir Warna (mg/L) Hari Ke -														
	2					4					6				
	I	II	III	Rata-rata	% Removal	I	II	III	Rata-rata	% Removal	I	II	III	Rata-rata	% Removal
30	0,998	0,999	1,003	1,000	93,38	0,979	0,982	0,979	0,980	93,71	0,959	0,961	0,960	0,960	93,84
40	0,989	0,994	0,987	0,990	93,64	0,957	0,961	0,962	0,960	93,84	0,928	0,931	0,931	0,930	94,09
50	0,969	0,969	0,972	0,970	93,78	0,936	0,941	0,943	0,940	93,97	0,917	0,922	0,921	0,920	94,03

**Tabel Analisa Pertumbuhan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)**

Variasi Kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Pertumbuhan Tanaman (cm) Hari Ke -											
	2				4				6			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
30	0,249	0,250	0,251	0,250	0,278	0,282	0,280	0,280	0,299	0,311	0,290	0,300
40	0,208	0,203	0,189	0,200	0,231	0,227	0,232	0,230	0,248	0,249	0,253	0,250
50	0,149	0,151	0,150	0,150	0,179	0,178	0,183	0,180	0,197	0,198	0,205	0,200

**LAMPIRAN**  
**DATA ANALISA STATISTIK**

9/9/2008 7:59:44 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

### A. Untuk COD

#### One-way ANOVA: % Penurunan Konsentrasi COD versus Variasi Kerapatan

Analysis of Variance for % Penuru				
Source	DF	SS	MS	
Variasi	2	6.6753	3.3377	85.74
Error	24	0.9343	0.0389	0.000
Total	26	7.6096		

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
30	9	86.573	0.182	(- * -)
40	9	87.164	0.205	(- * -)
50	9	87.791	0.205	(- * -)

Pooled StDev = 0.197

86.50      87.00      87.50      88.00

#### One-way ANOVA: % Penurunan Konsentrasi COD versus Waktu Detensi

Analysis of Variance for % Penuru				
Source	DF	SS	MS	
Waktu De	2	1.918	0.459	11.65
Error	24	6.691	0.279	0.021
Total	26	7.610		

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
2	9	86.988	0.523	(- * -)
4	9	87.114	0.519	(- * -)
6	9	87.427	0.542	(- * -)

Pooled StDev = 0.528

86.80      87.15      87.50      87.85

#### Correlations: % Penurunan Konsentrasi COD, Variasi Kerapatan, Waktu Detensi

	% Penuru	Variasi
Variasi	0.936	0.000
Waktu De	0.338	0.000
	0.015	1.000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

## Regression Analysis: % Penurunan versus Variasi Kera, Waktu Detens

The regression equation is

$$\% \text{ Penurunan Konsentrasi COD} = 84.3 + 0.0609 \text{ Variasi Kerapatan} + 0.110 \text{ Waktu Detensi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	84.3019	0.0576	1463.05	0.000
Variasi	0.060889	0.001267	48.04	0.000
Waktu De	0.109722	0.006337	17.31	0.000

S = 0.05377      R-Sq = 99.1%      R-Sq(adj) = 99.0%

### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	7.5402	3.7701	1303.75	0.000
Residual Error	24	0.0694	0.0029		
Total	26	7.6096			

Source	DF	Seq SS
Variasi	1	6.6734
Waktu De	1	0.8668

### Unusual Observations

Obs	Variasi	% Penuru	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	40.0	87.0700	87.1763	0.0103	-0.1063	-2.01R

R denotes an observation with a large standardized residual

## B. Untuk Warna

9/24/2008 7:09:29 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

## One-way ANOVA: % Penurunan Warna versus Variasi Kerapatan

Analysis of Variance for % Penuru					
Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	2	0.0022	0.1011	8.12	0.002
Error	24	0.7297	0.0304		
Total	26	0.7319			

### Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----		
30	9	93.848	0.178	(-----*-----)		
40	9	93.828	0.175	(-----*-----)		
50	9	93.830	0.170	(-----*-----)		
Pooled StDev = 0.174				93.760	93.840	93.920

### One-way ANOVA: % Penurunan Warna versus Variasi Waktu Detensi

Analysis of Variance for % Penuru					
Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	2	0.4677	0.2338	21.24	0.000
Error	24	0.2642	0.0110		
Total	26	0.7319			

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev							
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----			
2	9	93.671	0.085	(-----*-----)			
4	9	93.841	0.111		(-----*-----)		
6	9	93.993	0.116		(-----*-----)		
Pooled StDev = 0.105				93.60	93.75	93.90	94.05

### Correlations: % Penurunan Warna, Variasi Kerapatan, Variasi Waktu Detensi

	% Penuru	Variasi
Variasi	0.456	0.027
Variasi	0.799	0.000
	0.000	1.000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

### Regression Analysis: % Penurunan versus Variasi Kera, Variasi Wakt

The regression equation is  
% Penurunan Warna = 93.5 - 0.00089 Variasi Kerapatan  
+ 0.0806 Variasi Waktu Detensi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	93.5485	0.1122	833.64	0.000
Variasi	-0.000889	0.002468	-0.36	0.022
Variasi	0.08056	0.01234	6.53	0.000

S = 0.1047      R-Sq = 64.0%      R-Sq(adj) = 61.0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.46864	0.23432	21.36	0.000
Residual Error	24	0.26323	0.01097		
Total	26	0.73187			

Source	DF	Seq SS
Variasi	1	0.00142
Variasi	1	0.46722

### C. Untuk Tumbuhan

#### One-way ANOVA: Pertumbuhan Tanaman versus Variasi Kerapatan

Analysis of Variance for Pertumbu				
Source	DF	SS	MS	
Variasi	2	0.045000	0.022500	F 45.35
Error	24	0.011908	0.000496	P 0.000
Total	26	0.056908		

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
30	9	0.27667	0.02245	(---*---)
40	9	0.22667	0.02242	(---*---)
50	9	0.17667	0.02195	(---*---)

Pooled StDev = 0.02227

0.200      0.240      0.280

#### One-way ANOVA: Pertumbuhan Tanaman versus Waktu Detensi

Analysis of Variance for Pertumbu				
Source	DF	SS	MS	
Waktu De	2	0.01140	0.00570	F 5.01
Error	24	0.04551	0.00190	P 0.018
Total	26	0.05691		

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
2	9	0.20000	0.04359	(-----*-----)
4	9	0.23000	0.04335	(-----*-----)
6	9	0.25000	0.04369	(-----*-----)

Pooled StDev = 0.04354

0.180      0.210      0.240      0.270

#### Correlations: Pertumbuhan Tanaman, Variasi Kerapatan, Waktu Detensi

	Pertumbu	Variasi
Variasi	-0.889	0.000

	Waktu De	Pertumbu	Variasi
Waktu De	0.445	0.000	0.000
Pertumbu	0.020	1.000	

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

## Regression Analysis: Pertumbuhan versus Variasi Kera, Waktu Detens

The regression equation is

$$\text{Pertumbuhan Tanaman} = 0.377 - 0.00500 \text{ Variasi Kerapatan} + 0.0125 \text{ Waktu Detensi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.376667	0.005611	67.14	0.000
Variasi	-0.0050000	0.0001234	-40.51	0.000
Waktu De	0.0125000	0.0006171	20.26	0.000

S = 0.005236      R-Sq = 98.8%      R-Sq(adj) = 98.7%

### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.056250	0.028125	1025.84	0.000
Residual Error	24	0.000658	0.000027		
Total	26	0.056908			

Source	DF	Seq SS
Variasi	1	0.045000
Waktu De	1	0.011250

### Unusual Observations

Obs	Variasi	Pertumbu	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	40.0	0.18900	0.20167	0.00159	-0.01267	-2.54R
25	30.0	0.29000	0.30167	0.00202	-0.01167	-2.41R

R denotes an observation with a large standardized residual

**LAMPIRAN**

**TABEL T DAN TABEL F**

**TABEL T**

<b>df</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>	<b><math>\alpha = 0,025</math></b>	<b>df</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>	<b><math>\alpha = 0,025</math></b>
1	6.314	12.706	101	1.660	1.984
2	2.920	4.303	102	1.660	1.983
3	2.353	3.182	103	1.660	1.983
4	2.132	2.776	104	1.660	1.983
5	2.015	2.571	105	1.659	1.983
6	1.943	2.447	106	1.659	1.983
7	1.895	2.365	107	1.659	1.982
8	1.860	2.306	108	1.659	1.982
9	1.833	2.262	109	1.659	1.982
10	1.812	2.228	110	1.659	1.982
11	1.796	2.201	111	1.659	1.982
12	1.782	2.179	112	1.659	1.981
13	1.771	2.160	113	1.658	1.981
14	1.761	2.145	114	1.658	1.981
15	1.753	2.131	115	1.658	1.981
16	1.746	2.120	116	1.658	1.981
17	1.740	2.110	117	1.658	1.980
18	1.734	2.101	118	1.658	1.980
19	1.729	2.093	119	1.658	1.980
20	1.725	2.086	120	1.658	1.980
21	1.721	2.080	121	1.658	1.980
22	1.717	2.074	122	1.657	1.980
23	1.714	2.069	123	1.657	1.979
24	1.711	2.064	124	1.657	1.979
25	1.708	2.060	125	1.657	1.979
26	1.706	2.056	126	1.657	1.979
27	1.703	2.052	127	1.657	1.979
28	1.701	2.048	128	1.657	1.979
29	1.699	2.045	129	1.657	1.979
30	1.697	2.042	130	1.657	1.978
31	1.696	2.040	131	1.657	1.978
32	1.694	2.037	132	1.656	1.978
33	1.692	2.035	133	1.656	1.978
34	1.691	2.032	134	1.656	1.978
35	1.690	2.030	135	1.656	1.978
36	1.688	2.028	136	1.656	1.978
37	1.687	2.026	137	1.656	1.977
38	1.686	2.024	138	1.656	1.977
39	1.685	2.023	139	1.656	1.977
40	1.684	2.021	140	1.656	1.977
41	1.683	2.020	141	1.656	1.977
42	1.682	2.018	142	1.656	1.977
43	1.681	2.017	143	1.656	1.977
44	1.680	2.015	144	1.656	1.977
45	1.679	2.014	145	1.655	1.976
46	1.679	2.013	146	1.655	1.976
47	1.678	2.012	147	1.655	1.976
48	1.677	2.011	148	1.655	1.976
49	1.677	2.010	149	1.655	1.976
50	1.676	2.009	150	1.655	1.976

51	1.675	2.008	151	1.655	1.976
52	1.675	2.007	152	1.655	1.976
53	1.674	2.006	153	1.655	1.976
54	1.674	2.005	154	1.655	1.975
55	1.673	2.004	155	1.655	1.975
56	1.673	2.003	156	1.655	1.975
57	1.672	2.002	157	1.655	1.975
58	1.672	2.002	158	1.655	1.975
59	1.671	2.001	159	1.654	1.975
60	1.671	2.000	160	1.654	1.975
61	1.670	2.000	161	1.654	1.975
62	1.670	1.999	162	1.654	1.975
63	1.669	1.998	163	1.654	1.975
64	1.669	1.998	164	1.654	1.975
65	1.669	1.997	165	1.654	1.974
66	1.668	1.997	166	1.654	1.974
67	1.668	1.996	167	1.654	1.974
68	1.668	1.995	168	1.654	1.974
69	1.667	1.995	169	1.654	1.974
70	1.667	1.994	170	1.654	1.974
71	1.667	1.994	171	1.654	1.974
72	1.666	1.993	172	1.654	1.974
73	1.666	1.993	173	1.654	1.974
74	1.666	1.993	174	1.654	1.974
75	1.665	1.992	175	1.654	1.974
76	1.665	1.992	176	1.654	1.974
77	1.665	1.991	177	1.654	1.973
78	1.665	1.991	178	1.653	1.973
79	1.664	1.990	179	1.653	1.973
80	1.664	1.990	180	1.653	1.973
81	1.664	1.990	181	1.653	1.973
82	1.664	1.989	182	1.653	1.973
83	1.663	1.989	183	1.653	1.973
84	1.663	1.989	184	1.653	1.973
85	1.663	1.988	185	1.653	1.973
86	1.663	1.988	186	1.653	1.973
87	1.663	1.988	187	1.653	1.973
88	1.662	1.987	188	1.653	1.973
89	1.662	1.987	189	1.653	1.973
90	1.662	1.987	190	1.653	1.973
91	1.662	1.986	191	1.653	1.972
92	1.662	1.986	192	1.653	1.972
93	1.661	1.986	193	1.653	1.972
94	1.661	1.986	194	1.653	1.972
95	1.661	1.985	195	1.653	1.972
96	1.661	1.985	196	1.653	1.972
97	1.661	1.985	197	1.653	1.972
98	1.661	1.984	198	1.653	1.972
99	1.660	1.984	199	1.653	1.972
100	1.660	1.984	200	1.653	1.972

(Sumber: Sudjana, 2002)

**TABEL F ( $\alpha = 5\%$ )**

df	Df 1	Df 2	Df 3	Df 4	Df 5
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40

52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32
91	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31
92	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31
93	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31
94	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31
95	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31
96	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31
97	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31
98	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31
99	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30
105	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30

106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30
112	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29
113	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29
115	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
116	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29
123	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
135	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
137	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
138	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
139	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
140	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
141	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
142	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28
143	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
144	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
145	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
146	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
147	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
148	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28
149	3.90	3.06	2.67	2.43	2.27
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27
151	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27
152	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27
153	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27
154	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
155	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
156	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
157	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
158	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
159	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27

160	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
161	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
162	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
163	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
164	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
165	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
166	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
167	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
168	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
169	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27
170	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
171	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
172	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
173	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
174	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
175	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27
176	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27
177	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27
178	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26
179	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26
180	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26
181	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26
182	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26
183	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26
184	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26
185	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
186	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
187	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
188	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
189	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
190	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
191	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
192	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
193	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
194	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
195	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
196	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
197	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
198	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
199	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26

(Sumber: Sudjana, 2002)

**LAMPIRAN**

**DOKUMENTASI PENELITIAN**



**Gambar 1. Tumbuhan Kayu Apu Variasi Kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup>**



**Gambar 2. Tumbuhan Kayu Apu Variasi Kerapatan 40 mg/cm<sup>2</sup>**



**Gambar 3. Tumbuhan Kayu Apu Variasi Kerapatan 50 mg/cm<sup>2</sup>**



**Gambar 4. Pengukuran pH, Temperatur, dan Pertumbuhan Tanaman**



**Gambar 5. Spektrofotometer**



**Gambar 6. pH Meter**