SKRIPSI

PEMANFAATAN PAKU AIR (*AZOLLA PINNATA*) UNTUK MENURUNKAN BOD, COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR PRODUKSI TAHU SECARA KONTINYU

Oleh :

AROFFIE PISTAL

02.26.011

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2008

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITB BANDUNG

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

PEMANFAATAN PAKU AIR (*AZOLLA PINNATA*) UNTUK MENURUNKAN BOD, COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR PRODUKSI TAHU SECARA KONTINYU

Oleh :

AROFFIE PISTAL

02.26.011

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSc.	Hardianto, ST, MT.
NIP. 131965644	NIP.P. 1030000350

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan

Sudiro, ST, MT.

NIP.Y. 10339900327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PEMANFAATAN PAKU AIR (*AZOLLA PINNATA*) UNTUK MENURUNKAN BOD, COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR PRODUKSI TAHU SECARA KONTINYU

Oleh :

AROFFIE PISTAL

02.26.011

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensip Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S-1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 24 September 2008.

Mengetahui :

Panitia Ujian Komprehensip Skripsi

Ketua	Skretaris
Ir. Agustina Nurul H., MTP.	Sudiro, ST, MT.
NIP.Y. 103900214	NIP. 10339900327

Dewan Penguji,

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2
Sudiro, ST, MT.	Candra Dwi Ratna, ST, MT.
NIP.Y. 10339900327	NIP.Y. 1030000349

ABSTRAK

Pistal, Aroffie. 2008. Setyobudiarso, H., Hardianto. **Pemanfaatan Paku Air (*Azolla Pinnata*) Untuk Menurunkan BOD, COD, dan TSS Pada Limbah Cair Produksi Tahu Secara Kontinyu.** Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional.

Salah satu industri rumah tangga yang cukup banyak berkembang adalah pabrik tahu. Kandungan senyawa organik yang terdapat pada limbah cair produksi tahu berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Selain senyawa organik limbah tahu juga mengandung BOD, COD, TSS, N, P suhu dan pH. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air penerima agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Proses pengolahan yang digunakan untuk mengolah limbah cair produksi tahu dengan cara menggunakan tumbuhan *Azolla pinnata* dikenal dengan istilah fitoremediasi. Fitoremidiasi (*phytoremediation*) merupakan suatu sistem yang menggunakan tumbuhan, dimana tumbuhan tersebut bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) untuk mengubah, menghilangkan, menstabilkan, atau menghancurkan zat kontaminan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Azolla pinnata* dalam menurunkan BOD, COD dan TSS pada air limbah cair produksi tahu, dengan menggunakan reaktor kontinyu, air dari bak dialirkan secara gravitasi dan menggunakan penyinaran alami (sinar matahari). Dimana pada penelitian ini, meliputi variasi kepadatan tanaman *Azolla pinnata* dan waktu pengambilan sampel. Variasi kepadatan tanaman *Azolla pinnata* yang dipilih, yaitu 10 mg/cm^2, 20 mg/cm^2, 30 mg/cm^2. Variasi waktu pengambilan sampel yang dipilih, yaitu 2 hari, 4 hari dan 6 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi BOD tertinggi sebesar 78,5%, yaitu pada reaktor dengan variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dan pengambilan sampel 6 hari, persentase penurunan konsentrasi COD tertinggi sebesar 80,4%, yaitu pada reaktor dengan variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dan pengambilan sampel 6 hari, dan persentase penurunan kandungan TSS sebesar 80,7%, yaitu pada reaktor dengan variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dan pengambilan sampel 6 hari.

Kata kunci : *Azolla pinnata, BOD, COD, TSS, Limbah cair tahu.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Tuhan Yang Masa Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "**Pemanfaatan Paku Air (*Azolla Pinnata*) Untuk Menurunkan BOD, COD, dan TSS Pada Limbah Cair Produksi Tahu Secara Kontinyu**" ini tepat waktu

Skripsi ini disusun setelah melalui penelitian, analisis data dan pembahasan dari data yang telah diperoleh dari penelitian. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak, karena itu 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 penguji yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSc. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
3. Hardianto, ST. MT selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
4. Ibu Chandra Dwiratna, ST. MT. selaku Kepala Laboratorium Lingkungan dan selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar jurusan Teknik Lingkungan yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

6. Temen-temen Teknik Lingkungan khususnya Angkatan '02'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 saya susun.

Dan akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang.

Malang, September 2008

Penyusun

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan ii
Lembar Pengesahan iii
Abstraksi iv
Kata Pengantar v
Daftar Isi vii
Daftar Tabel xi
Daftar Gambar xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan Tumbuhan *Azolla* 4
2.1.1. Umum 4
2.1.2. Sirklus Pertumbuhan *Azolla* dan Simboisisnya 5
2.1.3. Syarat Tumbuh *Azolla* 6
2.1.4. Perkembangbiakan 8
2.1.5. Manfaat 9
2.2. Limbah Cair Tahu 9
2.3. Proses Pengolahan Limbah Dengan Menggunakan Tumbuhan Air *(Fitoremediasi)* 11
2.4. Mekanisme Penurunan Kontaminan Air Limbah pada Sistem Akuatik 17

2.4. Mekanisme Penurunan Kontaminan Air Limbah pada Sistem Akuatik 17
2.4.1. Aktivitas Mikroorganisme 17
2.4.2. Penurunan Bahan Organik 17
2.4.2.1. Mekanisme Penyisihan Kandungan BOD 17
2.4.2.2. Mekanisme Penyisihan Kandungan COD 19
2.4.2.3. Mekanisme Penurunan Total Suspendid Solid (TSS) 21
2.4.3. Konsumsi Bahan Organik Oleh Tanaman Air 22
2.4.4. Mekanisme Penyerapan unsur hara oleh tanaman air 23
2.4.5. Fotosintesis 25
2.4.6. Sedimentasi 26
2.5 Pemanfaatan *Azolla pinnata* untuk Pengolahan Air Limbah 26
2.6. Metode Pengolahan Data 27
2.6.1. Statistika Deskriptif dan Inferensi 27
2.6.2. Analisis Data Statistik dalam Minitab 28
2.6.3. Keunggulan Minitab 28
2.6.4. Analisis Korelasi 29
2.6.5. Analisis Regresi 30
2.6.6. Analisis ANOVA 31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian 32
3.1.1 Variabel Terikat 32
3.1.2 Variabel Bebas 32
3.2 Alat-Alat dan Bahan 32
3.2.1 Alat-Alat 32
3.2.2 Bahan 33
3.3 Penelitian Pendahuluan 34
3.3.1 Analisis Awal Media Tanam 34

3.3.2 Aklimatisasi 34
3.4 Pelaksanaan Penelitian 35
3.4.1 Penelitian Dengan Variasi Kepadatan Tanaman *Azolla Pinnata* dan Waktu Detensi. 35
3.4.2. Pengukuran Pertumbuhan Tanaman 37
3.4.3. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) 38
3.4.4. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*) 38
3.4.5. Analisis TSS 38
3.5 Analisis Data dan Pembahasan 39

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu 41
4.2. Hasil Penelitian 41
4.3. Analisis Data 43
4.4. Analisis Penurunan Konsentrasi BOD 44
4.4.1 Analisis Deskriptif 44
4.4.2. Uji Statistik 47
4.4.3. Analisis ANOVA 47
4.4.3.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD 47
4.4.3.2. Analisis Duncan 48
4.4.4. Analisis Korelasi 50
4.4.5. Analisis Regresi 51
4.5. Analisis Penurunan Konsentrasi COD 56
4.5.1. Analisis Deskriptif 56
4.5.2. Analisis ANOVA 58
4.5.2.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman

dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD 58
4.5.2.2. Analisis Duncan 60
4.5.3. Analisis Korelasi 60
4.5.4. Analisis Regresi 62
4.6. Analisis Penurunan Konsentrasi TSS 66
4.6.1. Analisis Deskriptif 66
4.6.2. Analisis ANOVA 69
4.6.2.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS 69
4.6.2.2. Analisis Duncan 70
4.6.3. Analisis Korelasi 70
4.6.4. Analisis Regresi 72
4.7. Pembahasan 76
4.7.1. Penurunan Konsentrasi BOD 76
4.7.2. Penurunan Konsentrasi COD 80
4.7.3. Penurunan Konsentrasi TSS 83

BAB V KESIMPILAN DAN SARAN
5.1. Kesimpulan 87
5.2. Saran 87

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1. Komposisi Fisik Limbah Cair Tahu 10

BAB III

Tabel 3.1. Metode Analisis Laboratorium 34

Tabel 3.2. Variasi Kepadatan Awal *Azolla Pinnata* 37

BAB IV

Tabel 4.1. Hasil Analisis Awal Air Limbah Industri Tahu 41

Tabel 4.2 Nilai Penurunan Konsentrasi Akhir BOD, COD dan TSS 42

Tabel 4.3 Nilai Persentase Penurunan Konsentrasi Akhir BOD, COD dan TSS.... 42

Tabel 4.4 Nilai Pertumbuhan Tanaman *(Relative Growth) Azolla Pinnata* 43

Tabel 4.5 Nilai Persentase Penurunan BOD 46

Tabel 4.6 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD 48

Tabel 4.7 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD 49

Tabel 4.8 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan BOD 51

Tabel 4.9 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi BOD 52

Tabel 4.10 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi BOD 52

Tabel 4.11 Nilai Persentase Penurunan COD 57

Tabel 4.12 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD 59

Tabel 4.13 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD 60

Tabel 4.14 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan COD 61
Tabel 4.15 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD 62
Tabel 4.16 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD 62
Tabel 4.17 Nilai Persentase Penurunan TSS..... 67
Tabel 4.18 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS..... 69
Tabel 4.19 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS..... 70
Tabel 4.20 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan TSS..... 71
Tabel 4.21 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi TSS 72
Tabel 4.22 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi TSS 72

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 *Azolla Pinnatta* 5
Gambar 2.2 Skema mekanisme kerja antara Inang (*Azolla*) dan simbion (*Anabaena*) 14
Gambar 2.3 Proses Fitoekstraksi 13
Gambar 2.4 Proses Rizofiltrasi 13
Gambar 2.5 Proses Fitostabilisasi 14
Gambar 2.6 Proses Rizodegradasi 15
Gambar 2.7 Proses Fitodegradasi 16
Gambar 2.8 Proses Fitovolatisasi 16
Gambar 2.9 Skema penyajian pada kolam stabilisasi air limbah 21

BAB III

Gambar 3.1 Reaktor rangkaian paralel 33

BAB IV

Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara %Removal BOD, COD, TSS, Pada Berbagai Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel 44
Gambar. 4.2. Grafik Penurunan Konsentrasi BOD 45
Gambar 4.3. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi BOD 47
Gambar 4.4. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi BOD 55
Gambar 4.5. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi BOD 55
Gambar. 4.6. Grafik Penurunan Konsentrasi COD 56

Gambar 4.7. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi COD 58
Gambar 4.8. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kapadatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi COD 65
Gambar 4.9. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi COD 65
Gambar. 4.10. Grafik Penurunan Konsentrasi TSS..... 66
Gambar 4.11. Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi TSS 68
Gambar 4.12. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kepadatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi TSS..... 75
Gambar 4.13. Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi TSS..... 75

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri rumah tangga disamping memberikan keuntungan dari segi perekonomian bagi masyarakat, juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan apabila tidak diolah, termasuk limbah tahu. Limbah tahu terutama limbah cair yang langsung dibuang kebadan air penerima tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu akan menimbulkan bau busuk dan mencemari lingkungan sekitar sehingga perlu pengolahan sebelum membuangnya ke badan air.

Limbah cair tahu adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu. Kandungan bahan organik pada limbah cair tahu bila tidak terurai akan menimbulkan bau tidak sedap dan mengurangi jumlah oksigen terlarut dalam air yang dapat membuat kondisi perairan menjadi anaerob. Adapun komponen fisik air limbah tahu suhu rata-rata ± 40 ^{o}C, pH 3-4, BOD 2000-3000 mg/l, COD 3000-7000 mg/l, TSS 635-660 mg/l dan DO 3 mg/l. (Wardhani. 1997).

Pengolahan limbah cair tahu yang telah digunakan pada saat ini adalah sistem konvensional antara lain: Sistem Lumpur Aktif, Sistem Tricking Filter, RBC (*Rotating Biolocal Contactor*), dan Sistem Kolam Oksidasi, yang pada umumnya membutuhkan biaya operasional dan pemeliharaan yang cukup mahal. (Anonim, 2003).

Salah satu alternatif untuk mengolah air limbah tersebut adalah menggunakan reaktor tumbuhan air secara kontinyu. Keuntungan menggunakan menggunakan reaktor ini adalah instalasinya yang sederhana karena hanya melibatkan tanaman air *Azolla pinnata* sebagai komponen biologi lingkungan tanpa peralatan yang rumit, sehingga pengadaan dan pengoperasiannya mudah, serta biaya operasional yang dibutuhkan relatif murah, dan lebih mudah untuk diaplikasikan ke industri rumah

tangga. Sehingga diharapkan industri kecil pembuatan tahu skala menengah dapat memanfaatkannya.

Azolla pinnata adalah sejenis tanaman paku-pakuan air yang hidupnya mengambang diatas permukaan air. Berukuran kecil antara 3-4 cm, lunak, bercabang tidak beraturan. *Azolla pinnata* tidak berbatang, tetapi mempunyai rhizome atau akar, dan dari akar tersebut tumbuh daun. *Azolla pinnata* dapat tumbuh dengan optimal pada kelembaban relatif antara 85%-90%, pH 5 – 7, dan suhu antara 20-40 °C (Djojosuwito, 2000)

Hasil penelitian Setyani (1999), diketahui bahwa dengan mengunakan tanaman air *Azolla pinnata* sebagai biofilter dengan sistem batch pada proses pengolahan limbah tahu dengan waktu tinggal selama 6 hari, dapat menurunkan COD dari 1012,8 mg/l menjadi 192,81 mg/l (81%), nilai N-total turun dari 24,93 mg/l menjadi 4,9 mg/l (80%), P-total dari 17,9 mg/l mengalami penurunan menjadi 3,97 mg/l (78%), dan pH dari nilai 4,28 mengalami peningkatan menjadi 8.

Hasil beberapa penelitian tersebut, maka akan dilakukan penelitian untuk menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada air limbah cair industri tahu dengan menggunakan *Azolla pinnata*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Seberapa efektif penurunan BOD, COD dan TSS pada sampel limbah cair produksi tahu yang ditanami *Azolla pinnata*.
2. Berapa kerapatan optimum tanaman *Azolla pinnata* untuk menurunkan konsentrasi BOD, COD dan TSS pada sampel limbah cair produksi tahu.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan *Azolla pinnata* dalam mengurangi kandungan BOD, COD dan TSS pada sampel limbah cair produksi tahu.

2. Mengetahui kerapatan optimum *Azolla pinnata* untuk menurunkan BOD, COD dan TSS pada limbah cair produksi tahu.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Jenis tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Azolla pinnata.*
3. Penelitian ini hanya melihat penurunan BOD, COD dan TSS oleh tanaman *Azolla pinnata.*
4. Menggunakan sistem kontinyu dengan sumber cahaya alami (matahari).
5. pH diatur antara 5-6 untuk pertumbuhan *Azolla pinnata* maksimum.

   Jika: $pH < 7 = + NaOH$

   $pH > 7 = + HNO_3$
6. Parameter yang diuji adalah BOD, COD dan TSS dalam limbah cair produksi tahu.
7. Dilakukan variasi terhadap :
   a. Variasi kerapatan tanaman *Azolla pinnata.*
   b. Variasi waktu pengambilan sampel.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGENALAN TUMBUHAN *AZOLLA*

2.1.1. Umum

Azolla pinnata merupakan tumbuhan sejenis paku-pakuan air yang hidupnya mengambang diatas permukaan air. Berukuran kecil antara 3-4 cm, lunak, bercabang tidak beraturan. *Azolla pinnata* tidak berbatang, tetapi mempunyai rhizome atau akar dan dari akar tersebut tumbuh daun. Tumbuhan *Azolla* dalam taksonomi mempunyai klasifikasi sebagai berikut (Djojosuwito 2000) :

Divisi : Pteridophyta
Kelas : Leptosporangiopsida (heterosporous)
Ordo : Salviniales
Famili : Salviniaceae
Genus : *Azolla*
Spesies : *Azolla pinnata*

Azolla merupakan tumbuhan air yang tumbuh dengan baik di daerah tropis maupun sub-tropis. *Azolla* dapat tumbuh di kolam, saluran air, maupun di areal pertanaman padi. Tumbuhan *Azolla* sangat pontesial untuk dikembangkan karena mudah dibudidayakan, cara pertumbuhannya, serta mempunyai kandungan hara terutama nitrogen, protein dan mineral cukup tinggi.

Azolla yang berupa tumbuhan kecil lunak dan bercabang, hidupnya mengapung diatas permukaan air. Daunnya berseling, tebal dan terbagi dua, yaitu : daun sebelah atas dan bawah. Daun bagian atas mengapung di atas permukaan air, berguna untuk asimilasi, berwarna hijau saat masih muda tetapi akan berubah menjadi merah atau cokelat gelap dengan bertambahnya umur. Sedangakn daun

bagian bawah terlihat lebih tipis dan berwarna pucat, berada di bawah permukaan air dan ikut berperan dalam proses penyerapan air.

Akar *Azolla* tidak bercabang, terletak di bawak daun. Panjang akar lebih kurang 5 cm merupakan akar rambut. Didalam air akar tumbuhan ini menggantung, bentuknya sederhana dan akan rontok bila sudah tua.

Azolla pinnata menyebar di Afrika, Asia Tenggara, Jepang dan Australia. *Azolla pinnata* dapat tumbuh dengan baik pada kondisi iklim seperti di Indonesia. Spesies ini terbagi menjadi dua varietas, yaitu var. *pinnata* dan var. *imbricata*. *Azolla pinnata* var. *pinnata* mampunyai cabang leteral yang sangat teratur menyerupai bulu pada burung, sedangkan cabang kedua dan ketiga menyebar di sekeliling tumbuhan. *Azolla pinnata* var. *imbricata* mempunyai bentuk menyerupai segitiga.

Gambar 2.1 : *Azolla pinnata*

(Sumber : http://www.hear.org/pier/species/azolla_pinnata.htm)

2.1.2. Sirklus Pertumbuhan *Azolla* dan Simboisisnya

Untuk mencapai pertumbuhan sempurna, setiap tumbuhan memiliki tahap siklus pertumbuhan. *Azolla* pun memiliki siklus pertumbuhan sendiri. Ada tiga tahap siklus pertumbuhan *Azolla*, antara lain sebagai berikut :

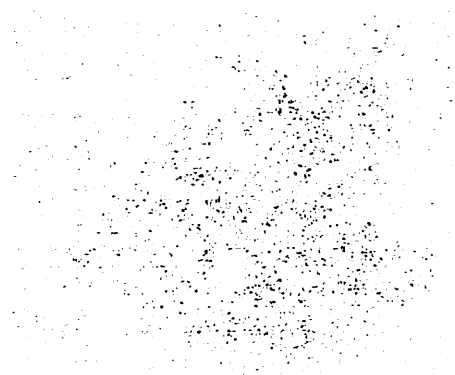
1. Tahap pertama

   Tahap ini merupakan tahap pemunculan kecambah dengan umur antara 7 – 10 hari setelah mulai berkecambah. Kecambah tumbuh agak lambat dan

bagian bawah terlihat lebih tipis dan berwarna pucat, berada di bawah permukaan air dan ikut berperan dalam proses penyerapan air.

Akar Azolla tidak bercabang, terletak di bawah daun. Panjang akar lebih kurang 5 cm menyebar akar rambut. Didalam air akar tumbuhan ini menggantung, bentuknya sederhana dan akan rontok bila sudah tua.

Azolla pinnata menyebar di Afrika, Asia Tenggara, Jepang dan Australia. Azolla pinnata dapat tumbuh dengan baik pada kondisi iklim seperti di Indonesia. Species ini terbagi menjadi dua varietas, yaitu var. pinnata dan var. imbricata. Azolla pinnata var. pinnata mempunyai cabang lateral yang sangat teratur menyempit baik pada burung, sedangkan cabang kedua dan ketiga menyebar di sekelilingi tumbuhan. Azolla pinnata var. imbricata mempunyai bentuk menyempit segitiga.



Gambar 2.1 : Azolla pinnata

(Sumber : [illegible])

2.1.2. Siklus Pertumbuhan Azolla dan Simbiosisnya

Untuk mencapai pertumbuhan sempurna, setiap tumbuhan memiliki tahap siklus pertumbuhan. Azolla pun memiliki siklus pertumbuhan sendiri. Ada tiga tahap siklus pertumbuhan Azolla, antara lain sebagai berikut :

1. Tahap pertama

Tahap ini merupakan tahap pertumbuhan kecambah dengan umur antara 7 – 10 hari setelah mulai berkecambah. Kecambah tumbuh cepat lambat dan

mempunyai 1 – 8 anak daun dengan laju pertumbuhan rata-rata 0,6 – 0,7 daun per hari tanpa tunas-tunas sisi.

2. Tahap kedua

   Tahap ini disebut juga tahap muda dengan umur 25 – 35 hari setelah berkecambah. Pada tahap ini kecambah telah memiliki 2 – 11 tunas yang masing-masng menumbuhkan 4 – 7 anak daun per hari.

3. Tahap ketiga

   Tahap ini merupakan tahap mengambang dengan umur di atas 35 hari setelah berkecambah. Biasanya pada tahap ini masing-masing sporfit memiliki lebih dari 11 tunas dan memperbanyak secara cepat. Laju pertumbuhan rata-rata 15 – 18 anak daun per hari. Sporfit terbentuk setelah melalui tahap terjadinya zigot sebagai akibat adanya pertumbuhan sel telur oleh sperma.

2.1.3. Syarat Tumbuh *Azolla*

Pertumbuhan *Azolla* dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti air, temperatur dan cahaya, yang satu sama lainnya saling berhubungan, Air merupakan persyaratan bagi kelangsungan hidup *Azolla* karena merupakan tempat untuk mengambil mineral. Dalam proses pertumbuhan dan fiksasi N_2 dipengaruhi oleh temperatur, kualitas dan kauntitas cahaya, gas alam dan lain-lain.

Faktor lingkungan yang menjadi syarat untuk pertumbuhan *Azolla* adalah sebagai berikut :

a. Tanah

   Tekstur tanah sebaiknya tidak porous agar kehilangan air yang cukup banyak akibat infilterasi maupun perkolasi dapat dihindari. Pada daerah dengan pengairan terbatas, struktur tanah liat lebih baik bagi pertumbuhan *Azolla* dibandingkan tanah berpasir karena porositas tanah liat lebih kecil.

b. Unsur Hara

   Unsur hara sangat dibutuhkan dalam pertumbuhan *Azolla*, terutama unsur fosfor (P). Kekurangan fosfat pada tumbuhan *Azolla* ditandai oleh penampilan

tumbuhan yang kecil, warnah agak merah sampai merah tua, vigor rendah dan total nitrogen (N) dalam *Azolla* rendah. Kekurangan fosfat yang sangat parah akan menyebapkan daun *Azolla* mengerut, berwarna merah kehitam-hitaman, dan pertumbuhan akan menjadi keriting.

c. Derajat Keasaman (pH) Tanah dan Air

Azolla dapat hidup di lahan yang mempunyai derajat keasaman (pH) tanah 3,5-10 bila faktor-faktor lainnya telah memenuhi syarat pertumbuhannya. Tanah dengan pH terlalu rendah dapat menimbulkan keracunan aluminium (Al) dan besi (Fe) serta defisiensi fosfor. Agar pertumbuhan *Azolla* menjadi baik, pH tanah optimum berkisar 4,5 – 7,0 dan pH air optimum 5,0 – 6,0. derajat keasaman air yang demikian dapat menghasilkan *Azolla* segar dengan laju pertumbuhan tertinggi.

d. Air

Ketersediaan air harus terjamin dan mencukupi selama pertumbuhan *Azolla*. Ini disebabkan *Azolla* merupakan tumbuhan air yang tumbuh dan berkembang di atas permukaan air. Air yang cukup selama pertumbuhan dapat meningkatkan laju pertumbuhan relatif, total biomasa dan kandungan nitrogen.

e. Cahaya

Intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi pertumbuhan *Azolla*. Apabila cahaya matahari terhalang, pertumbuhan *Azolla* dapat terhambat. Kebutuhan cahaya matahari yang dapat diterima langsung oleh *Azolla* paling sedikit 25 – 50 %. Sedangkan intensitas cahaya matahari yang optimum untuk fiksasi N_2 oleh *Azolla* sekitar 40 – 60 flux.

f. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor lingkungan penting bagi pertumbuhan *Azolla*. Temperatur optimum berkisar 20 – 35 °C.

g. Kelembaban

Kelembapan relatif optimum yang dikehendaki untuk pertumbuhan *Azolla* antara 85–90 %. Kelembapan relatif di bawah 60% dapat menyebabkan dau *Azolla* mengering dan mudah terserang penyakit, terutama pada kondisi lingkungan tumbuh yang kurang menguntungkan. Sedangkan kelembaban relatif yang sangat tinggi dapat mengakibatkan periode terjadinya embun menjadi lebih lama sehingga *Azolla* mudah terjangkit penyakit.

h. Angin

Populasi *Azolla* yang tumbuh di atas air akan mudah terdorong angin yang keras dan berkumpul di ruang tertentu. Akibatnya *Azolla* menjadi padat. Hal ini dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangannya. Agar pengaruh angin dapat berkurang, sebaiknta di sekeliling petak pemeliharaan atau itercroping *Azolla* dibuatkan tanggul.

i. Kepadatan populasi

Kepadatan populasi *Azolla* dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembang biakan *Azolla*. Apabila populasi *Azolla* terlalu padat, pertumbuhan dan perkembang biakannya dapat terhambat sehingga perlu dilakukan pemindahan *Azolla* ke ruang yang kosong secara merata agar pertumbuhannya lebih cepat dan baik (Arifin, 1996 dalam Styani, 1999).

Dalam penelitian ini faktor tanah tidak disertakan sebab lingkungan reaktor buatan dari bahan kaca. Tujuan adalah untuk menjamin agar penurunan parameter uji pada sampel air limbah bukan oleh media tanah yang bersifat absorben.

2.1.4. Perkembangbiakan

Azolla dapat berkembang biak secara vegetatif maupun secara seksual. Perkembang biakan secara vegetatif jauh lebih cepat pertumbuhannya dibandingkan perkembangbiakan secara seksual. Tetapi tumbuhan *Azolla* hasil pembiakan secara seksual relatif lebih toleran terhadap berbagai kondisi lingkungan tumbuhnya dan kemampuan hidup biomasa yang disimpan lama (mencapai 3 tahun).

2.1.5. Manfaat

Azolla pinnata dapat digunakan sebagai pupuk organik dan membantu dalam memperbaiki keadaan fisik, kimia serta biologi tanah sehingga sangat bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman, terutama padi. Kedaan fisik tanah yang diperbaiki *Azolla pinnata* seperti stabilitas angregat, struktur dan porositas tanah karena kerapatan massa tanah menjadi berkurang.

Adakalanya lahan pertanaman padi mengalami kekuangan air. Pada lahan seperti itu, pekaran *Azolla pinnata* akan memanjang hingga menembus permukaan tanah agar tetap hidup. Keadaan *Azolla pinnata* tersebut sekaligus berperan sebagai mulsa dan mengurangi terjadinya evaporasi tanah sehingga kadar air tanah dapat dipertahankan selama 20-30 hari. Spora *Azolla pinnata* akan tumbuh kembali apa bila laha mulai terairi. Dengan demikian, *Azolla pinnata* dikenal sebagai tumbuhan dengan priode tumbuh lama.

Ditinjau dari segi kimia tanah, *Azolla pinnata* dapat memperkaya unsur hara makro dalam tanah. Sedangkan dari segi biologi tanah, *Azolla pinnata* akan cepat tumbuh dan berkembang biak menutupi permukaan air sehingga cahaya air yang diperlukan dalam proses fotosintesis gulma menjadi terganggu

Azolla pinnata dapat dijadikan filter (penyaring) air dari pencemaran logam berat. Selain itu, *Azolla pinnata* mampu menekan perkembangbiakan nyamuk, terutama di air tenang atau tergenang.

Kegunaan lain adalah *Azolla pinnata* dapat digunakan sebagai makanan ternak, unggas, dan ikan karena kandungan protein dan mineralnya tinggi. *Azolla pinnata* dapat digunakan sebagai pakan sapi dengan formulasi *Azolla pinnata* segar dicampur molases, jerami dan dedak padi dengan perbandingan yang sama. Selain ternak sapi, *Azolla pinnata* pun dapat dijadikan makanan ikan.

2.2. LIMBAH CAIR TAHU

Limbah cair tahu adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu. Jenis limbah cair tahu adalah yang berasal dari sisa air tahu yang menggumpal dan

potongan tahu yang hancur pada saat proses karena kurang sempurnanya proses penggumpalan. Limbah cair tahu jika dilihat dari komposisi kimianya mengandung nutrien-nutrien seperti protein, karbohidrat, dan lipid yang mengandung BOD dan COD yang tinggi.

Menurut (Wardani, 1997), Air buangan limbah tahu dapat bersifat mencemari lingkungan. Adapun faktor-faktor penyebabnya adalah sifat fisik, fisiologis, kemis, dan biologis yang menyertai air bungan limbah tahu itu sendiri. Faktor fisik tersebut meliputi suhu yang tinggi, warna yang keruh dan kandungan zat tersuspensi serta kotoran yang terlalu tinggi. Adapun komposisi fisik limbah cair tahu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi Fisik Limbah Cair Tahu

Materi	Jumlah
Suhu (^{0}C)	37 – 45
Padatan terendap (mg/L)	175 – 190
Padatan tersuspensi (mg/L)	635 – 660
Padatan total (mg/L)	688 – 703
Warna (Pt-co)	2225 – 2250
Kekeruhan (FTU)	535 – 585
pH	3 – 4
BOD (mg/L)	2000-3000
COD (mg/L)	3000-7000
DO (mg/L)	3

(Sumber : Wardani, 1997)

Limbah cair tahu sebelum dibuang ke badan air atau sungai harus diolah terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan sifat limbah cair tahu antara lain :

1. Limbah cair mengandung zat-zat organik terlarut dan padatan terlarut yang mengalami perubahan secara fisika, kimia, maupun hayati yang bisa menjadi media tumbuhnya kuman, serta menimbulkan bau busuk.
2. Suhu air limbah tahu rata-rata 40 – 60 ^{0}C. Suhu ini lebih tinggi dibandingkan suhu rata-rata air lingkungan. Pembuangan secara langsung, tanpa proses, dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup.
3. Air limbah yang bersifat asam karena pada proses penggumpalan sari kedelai digunakan bahan penolong yang bersifat asam. Keasaman limbah dapat membunuh mikroba, misalnya bakteri. Agar aman, limbah perlu diolah sehingga mempunyai pH 6,5.

2.3. PROSES PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN MENGGUNAKAN TUMBUHAN AIR *(FITOREMEDIASI)*

Selama beberapa dasawarsa ini telah dikembangkan alternatif pengolahan limbah yang lebih sederhana yaitu pengolahan limbah dengan memanfaatkan tumbuhan air. Metode ini digunakan karena tumbuhan air memiliki kemampuan untuk memisahkan bahan pencemar dalam air limbah. Kebanyakan dari peneliti mempercayai bahwa tumbuhan dapat menguraikan kandungan bahan organik dan mengakumulasikan logam berat . Umumnya tumbuhan air menyerap bahan organik yang terdapat di dalam limbah cair melalui akar dan batangnya. Beberapa jenis tumbuhan air memiliki kemampuan untuk menghilangkan kandungan bahan organik pada air limbah, seperti Eceng Gondok *(Eichhornia crassipes)*, dan Kayu Apu *(Pistia stratiotes)*, *Azolla pinnata* dan *Duck weed*.

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dikenal dengan istilah *fitoremediasi*. Istilah *fitoremediasi* berasal dari kata Inggris *phytoremediation* kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *Phyto* asal kata Yunani atau *greek phyton* yang berarti tumbuhan atau tanaman (plant), *remediation* asal kata Latin *remediare* (to remedy) yaitu memperbaiki atau menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Jadi *fitoremediasi (phytoremediation)* merupakan suatu sistem yang

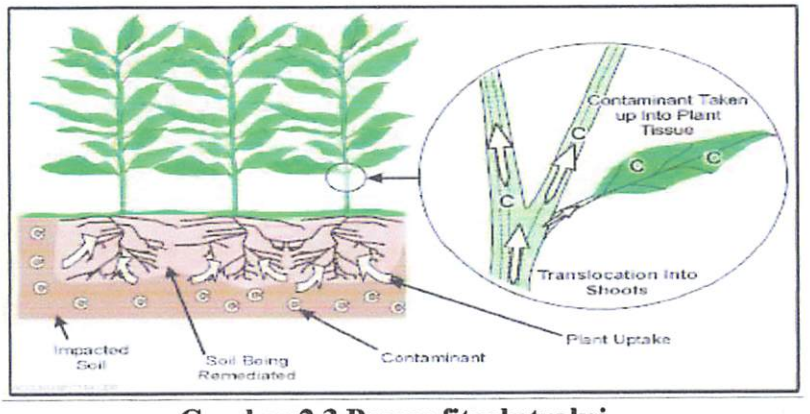
menggunakan tumbuhan, dimana tumbuhan tersebut bekerjasama dengan mikro-organisme dalam media (tanah, koral dan air) untuk mengubah, menghilangkan, menstabilkan, atau menghancurkan zat kontaminan (pencemar atau polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya sama sekali bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi.

Teknologi ini mulai berkembang dan banyak digunakan karena memberikan banyak keuntungan Teknologi ini potensial untuk diaplikasikan, aman untuk digunakan dan dengan dampak negatif relatif kecil, memberikan efek positif yang multiguna terhadap kebijakan pemerintah, komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya relatif rendah, mampu mereduksi volume kontaminan, dan memberikan keuntungan langsung bagi kesehatan masyarakat.

Keuntungan paling besar dalam penggunaan fitoremediasi adalah biaya operasi lebih murah bila dibandingkan pengolahan konvensional lain seperti insinerasi, pencucian tanah berdasarkan sistem kimia dan energi yang dibutuhkan. Sebagai perbandingan, sistem pencucian logam membutuhkan biaya sekitar US$ 250/kubik yard sedangkan fitoremediasi hanya membutuhkan US$ 80/kubik yard.

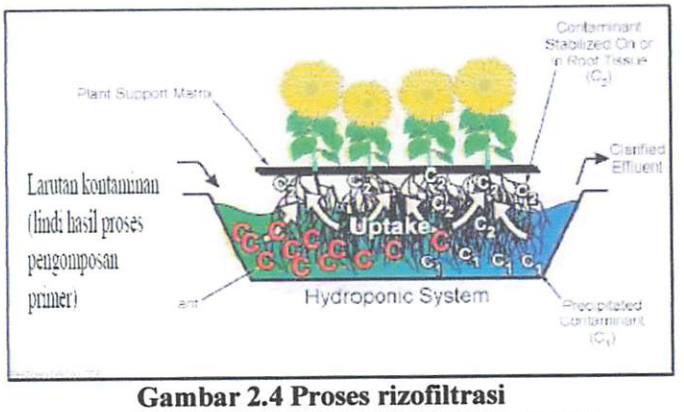
Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan, yaitu sebagai berikut :

1. Fitoekstraksi / fitoakumulasi ***(Phytoacumulation / phytoextraction)*** yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperacumulation*. Dapat dilihat pada gambar 2.3 akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini adalah cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang dipakai adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari dan jagung.

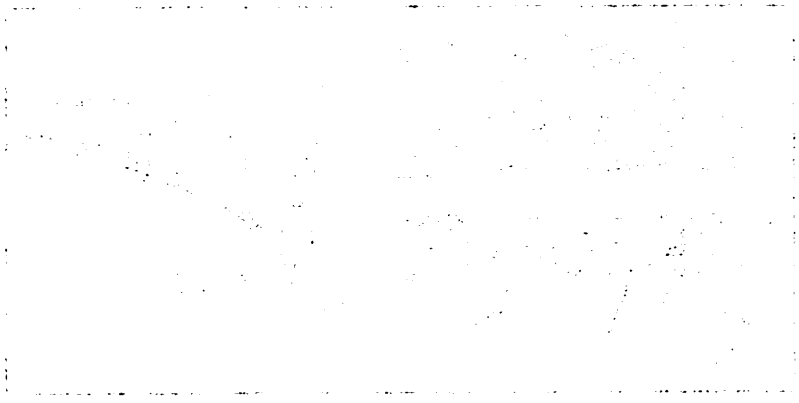


Gambar 2.3 Proses fitoekstraksi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

2. ***Rhizofiltration*** (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar atau pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menguraikan, menyerap, mengendapkan, bahan-bahan organik dari aliran limbah yang dibantu dengan mikroorganisme yang terdapat pada sistem perakaran, mikroorganisme membantu untuk mempercepat penguraian bahan-bahan organik di dalam air limbah. Dapat dilihat pada gambar 2.4 akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zone akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah tumbuhan air seperti *Cattail*, bunga matahari, Kayu Apu, dan Eceng Gondok, *Azolla pinnata*, dan *Duck weed* (Mangkoedihardjo, 2002 dalam Subrata, 2007).

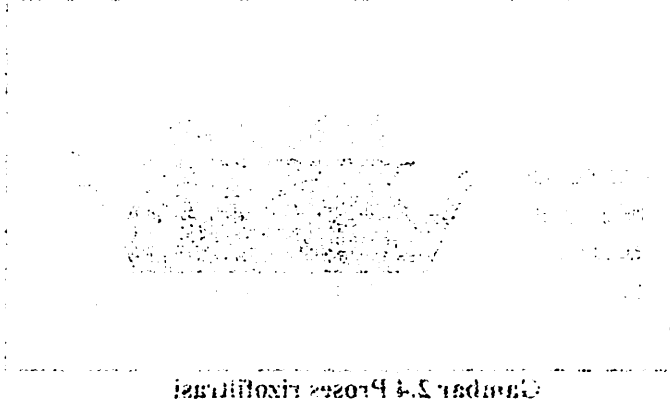


Gambar 2.4 Proses rizofiltrasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)



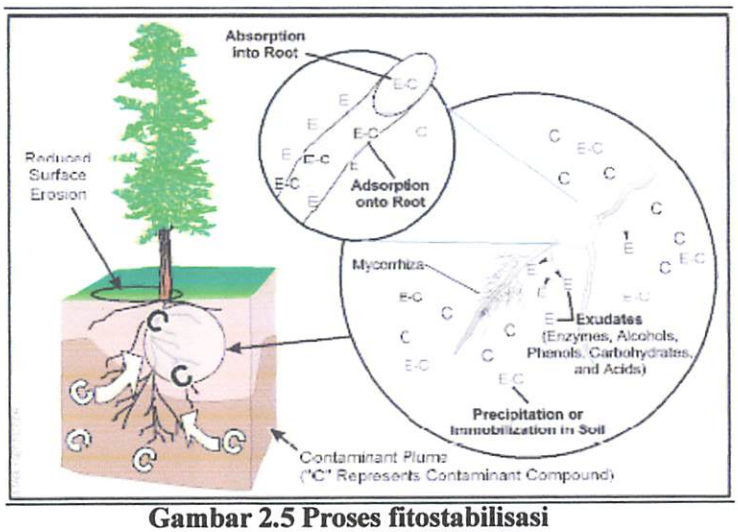
Gambar 2.3 Proses fitoekstraksi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

2. **Rhizofiltration** (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar atau penanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menguraikan, menyerap, mengendapkan bahan-bahan organik dari aliran limbah yang dibantu dengan mikroorganisme yang terdapat pada sistem perakaran. mikroorganisme membantu untuk menperoleh pengurasan bahan-bahan organik di dalam air limbah. Dapat dilihat pada gambar 2.4 akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zone akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah tumbuhan air seperti *Cattail*, bunga matahari, Kayu Apu, dan Teong Gondok, *Azolla pinnata*, dan *Nitrol weed* (Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007).



Gambar 2.4 Proses rizofiltrasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

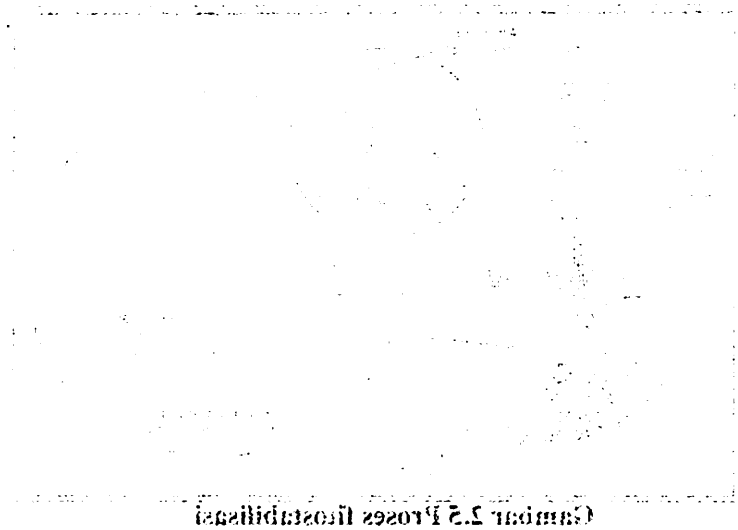
3. **Fitostabilisasi** ***(phytostabilization)*** yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media. Dapat dilihat pada gambar 2.5 akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zone akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air, seperti bunga matahari dan jenis tumbuhan air lainnya serta kedelai.



Gambar 2.5 Proses fitostabilisasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

4. **Rizodegradasi** ***(Rhyzodegradetion)*** disebut juga *enhenced rhezosphere biodegradation, or plented-assisted bioremidiation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri. Dapat dilihat pada gambar 2.6 polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat

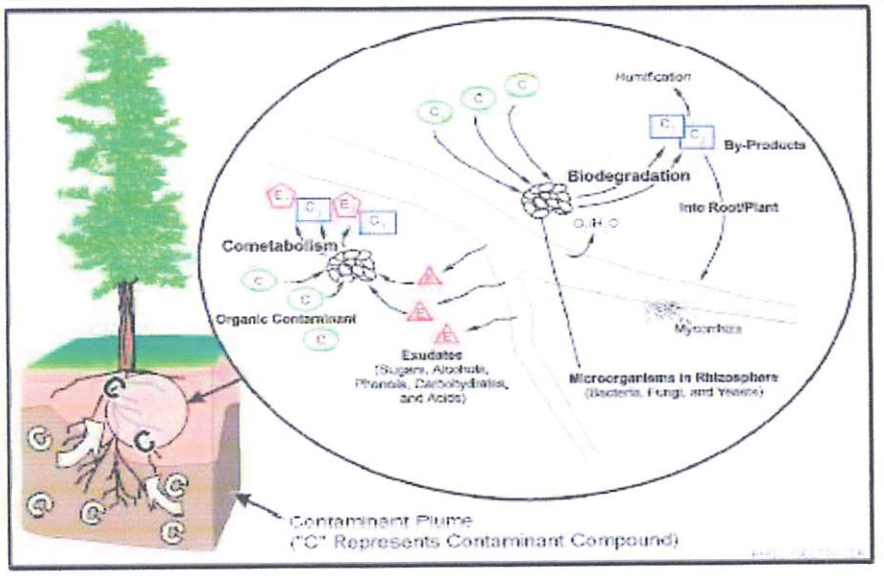
3. **Fitostabilisasi** (*phytostabilization*) yaitu pencampuran zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut mengendap atau (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media. Dapat dilihat pada gambar 2.5 akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zone akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air, seperti bunga matahari dan jenis tumbuhan air lainnya serta kedelai.



Gambar 2.5 Proses fitostabilisasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Suhartati, 2007)

4. **Rizodegradasi** (*Rhizodegradation*) disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation*, or *plant-assisted bioremediation degradation*, yaitu pengurangan zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri. Dapat dilihat pada gambar 2.6 polutan diuraikan oleh mikrobe dalam tanah, yang diperkuat sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat kolaman akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat

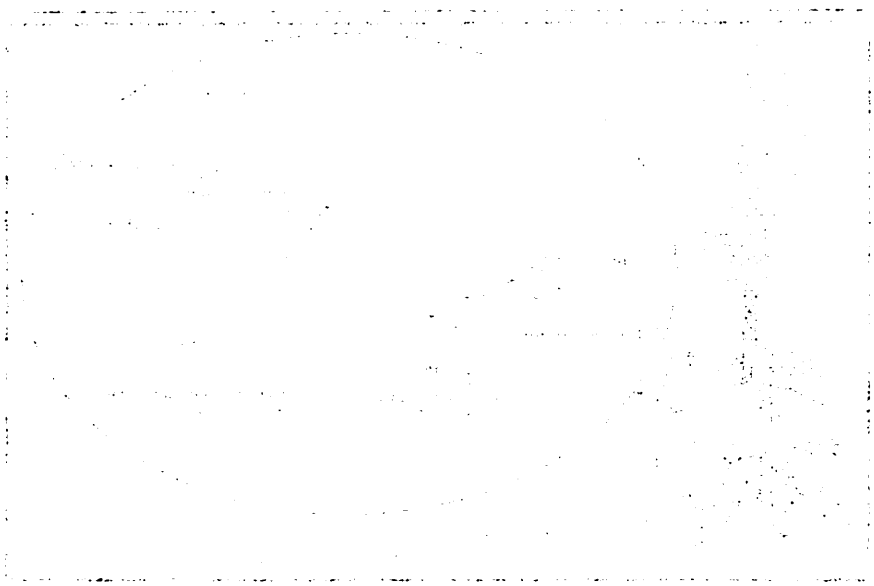
organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.



Gambar 2.6 Proses rizodegradasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

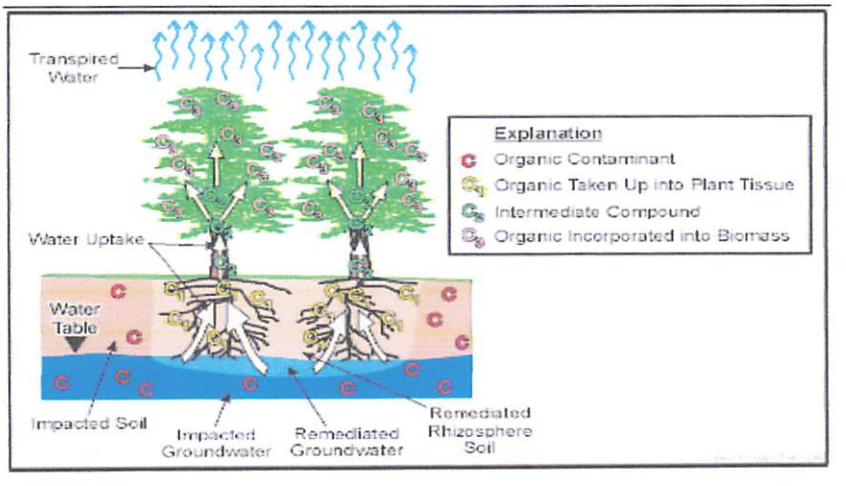
5. **Fitodegradasi** (***Phytodegradation / phyto transformation)*** yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzym yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Dapat dilihat pada gambar 2.7 organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.

organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.



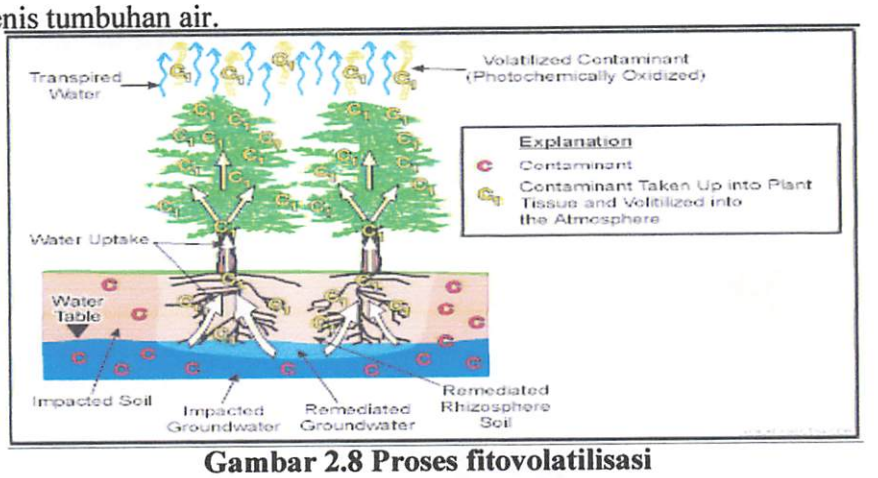
Gambar 2.6 Proses fitodegradasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Suhrata, 2007)

5. **Fitodegradasi (*Phytodegradation / phytotransformation*)** yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk mengurainkan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat bergunna bagi perumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzym yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Dapat dilihat pada gambar 2.7 organ tumbuhan mengurainkan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.

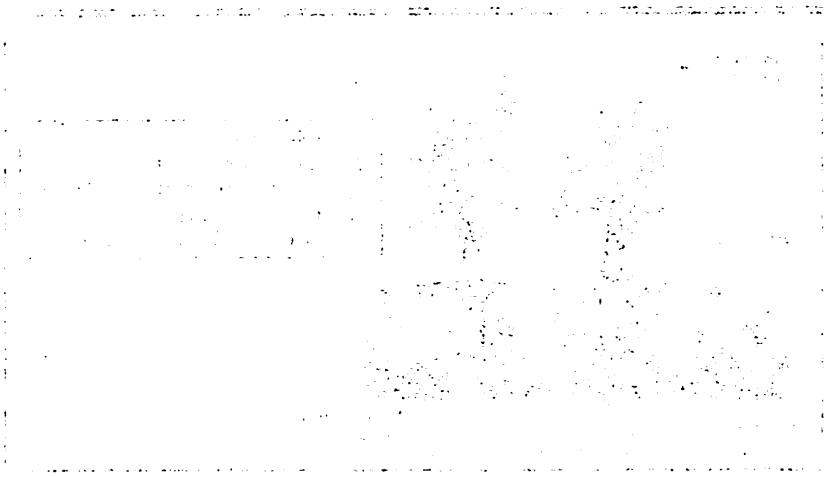


Gambar 2.7 Proses fitodegradasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)

6. **Fitovolatilisasi *(Phytovolatization)*** yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfir. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang. Dapat dilihat pada gambar 2.8 penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas, pakis dan berbagai jenis tumbuhan air.

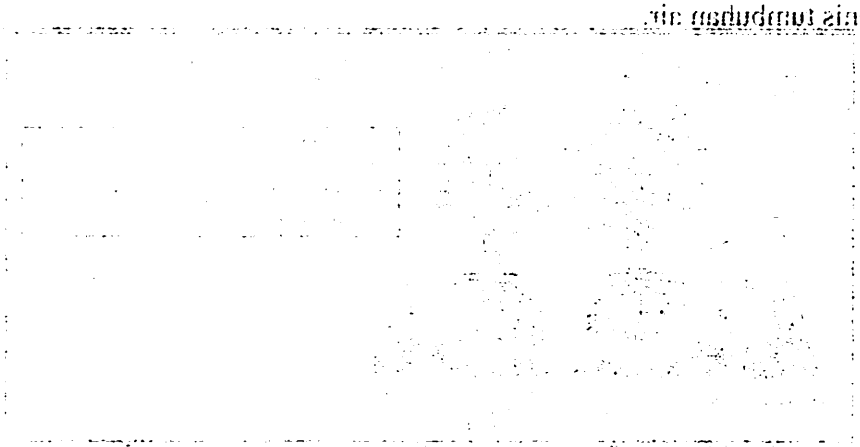


Gambar 2.8 Proses fitovolatilisasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Subrata, 2007)



Gambar 2.7 Proses fitodegradasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Suhrata, 2007)

6. **Fitovolatilisasi** (*Phytovolatization*) yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan ternai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfir. Beberapa tumbuhan dapat mengupakan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang. Dapat dilihat pada gambar 2.8 penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap air ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas, pakis dan berbagai jenis tumbuhan air.



Gambar 2.8 Proses fitovolatilisasi
(Mangkoedihardjo, 2005 dalam Suhrata, 2007)

2.4. MEKANISME PENURUNAN KONTAMINAN AIR LIMBAH PADA SISTEM AKUATIK

2.4.1. Aktivitas Mikroorganisme

Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses pengurangan 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 sistem trickling filter dan sistem activated slug. Tetapi jenis mikroorganisme adalam reaktor tumbuhan air lebih banyak.

Dalam sistem akuatik, disamping penguraian secara aerob, juga terjadi proses penguraian secara anaerob. Proses pengurai anaerobik tersebut terjadi pada lapisa lumpur di dasar perairan. (Orth, 1987 dalam Styani, 1999)

Tumbuhan air, misalnya *Azolla Pinnata*, memiliki akar-akar halus yang menggantung. Permukaan akarnya digunakan oleh mikroorganisme sebagai tempat pertumbuhan sehingga kepadatan mikroorganisme dalam sistem meningkat. Terutama nitrifikasi yang peka menemukan tempat peretumbuhan yang sesuai pada akar tanaman air. Nitrifikasi yang dihasilkan serta dinitrifikasi yang berlangsung dalam sedimen merupakan proses yang memisahkan kandungan nitrat dalam air limbah. (Stowel, 1981 dalam Styani, 1999)

2.4.1. Penurunan Bahan Organik

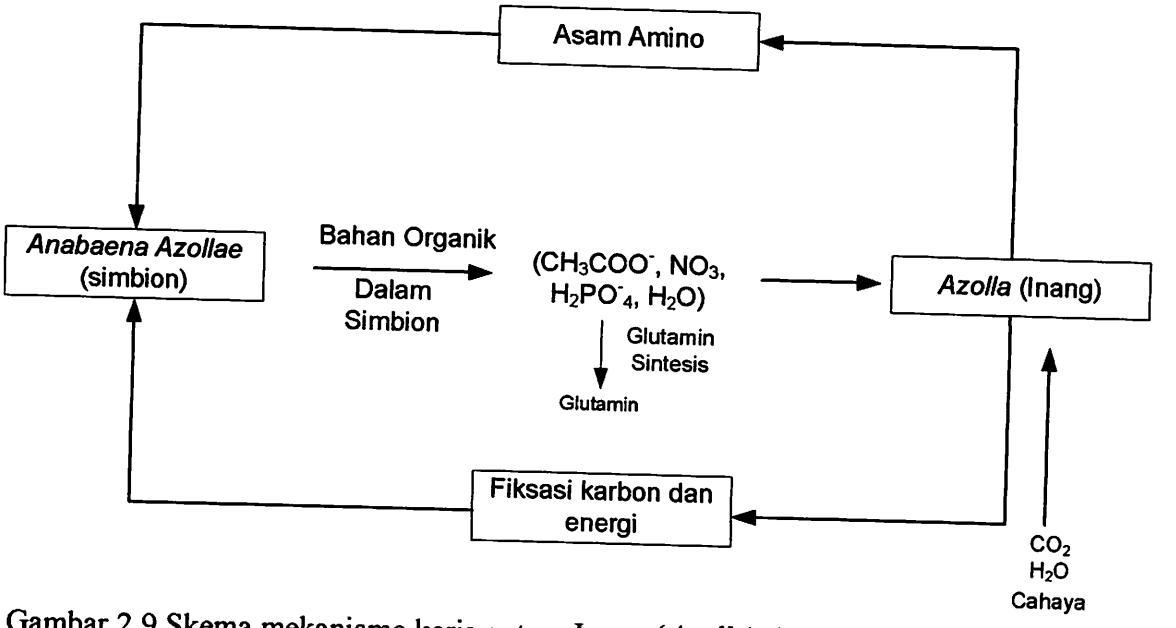
2.4.2.1. Mekanisme Penyisihan Kandungan BOD

BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan atau meng oksidasi bahan organik oleh mikroorganisme (secara biologis). Proses penurunan BOD_5 pada terjadi melalui proses fisik dan biologis. Removal fisik dari BOD_5 terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada permukaan media dan menempel pada akar tanaman dan penetrasi rizhoma pada media. Organisme mikro memegang

peranan sangat penting dalam penghilangan bahan organik yang proses penguraianya membutuhkan oksigen BOD_5.

Mikroorganisme dapat tumbuh dan melekat di akar dan batang tumbuhan air dengan menempel pada tumbuhan. Selain itu dengan sistem pertukaran gas dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis pada tumbuhan air yaitu CO_2 cenderung naik keatas daun dan oksigen turun mengalir ke sistem akar tanaman air dalam zona rizospher setelah berdifusi dari atmosfir melalui pori-pori daun. Pelepasan oksigen dari akar tanaman menyebabkan air di sekitar rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang cukup tinggi sehingga memungkinkan organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan yang berkondisi anaerob.

Azolla bersimbiosis dengan *Cyanobakteria* yang dikenal dengan nama *Anabeana azolla* dan terdapat di dalam rongga daun *Azolla*. Simbiosis *Azolla* dengan *Cyanobakteria* di dalam rongga daun terdapat rambut-rambut epidermal yang berfungsi untuk mempercepat penguraiaan bahan-bahan organik di perairan. *Anabaena azollae* mempunyai dua macam sel, yaitu sel vegetatif dan heterosis. Di dalam sel heterosis yang mengandung enzim nitrogenase akan memfiksasi bahan-bahan organik melalui ATP yang berasal dari berasal dari peredaran fotoforilasi. Dengan enzim ini dapat mengubah Bahan Organik menjadi CH_3COO^-, NO_3, $H_2PO^-_4$, H_2O selanjutnya diangkut ke inang (*Azolla*). Inang menginkorporasikan hasil fiksasi menjadi asam-asam amino. Disamping itu, inang mempunyai kemampuan dalam memfiksasi CO_2 dan melakukan fotosintesis. Selain dipergunakan untuk kebutuhan sendiri, hasil fotosintesa bersama-sama dengan asam amino akan disuplai ke simbion (*Anabaena azollae*).



Gambar 2.9 Skema mekanisme kerja antara Inang (*Azolla*) dan simbion (*Anabaena*)
(Sumber : Azizah, 2003)

Mikroorganisme aerobik, bakteri, *Anabeana azolla* dan *fungi* (jamur) menggunakan oksigen dari udara yang tersisa di dalam perairan dan melakukan penguraiaan nutrien dalam bentuk bahan organik kedalam bentuk terlarut yang dapat dikembalikan oleh tanaman. Dekomposer tersebut mengubah partikel organik ke CO_2 dan Air. Kira-kira sebesar 80% total BOD_5 air limbah domestik terdiri dari TSS dan *colloidal solid*. Sekitar 34 - 45% BOD_5 dihilangkan melalui pengendapan pertama 60 - 65% BOD_5 yang dihilangkan tersebut adalah solid (Benefild dan Randall,1980)

2.4.2.2. Mekanisme Penyisihan Kandungan COD

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan organik secara kimia. COD yang berhubungan dengan zat padat yang terendapkan (*Settleable solid*) didalam air buangan dihilangkan oleh proses sedimentasi. COD terlarut dan dalam bentuk koloid yang masih tersisa dalam larutan dapat dihilangkan sebagai hasil dari aktivitas metabolisme dari mikroorganisme dan

interaksi kimia di dalam zona perakaran/matrik substrat. (Wood, 1995 dalam Mayangriani, 2006)

Pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air seperti *Azolla pinnata*, *Azolla pinnata* dan mikroorganisme mempunyai peranan yang utama yang berperan dalam penyerapan zat organik dalam air limbah. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi molekul ion yang mudah diserap oleh *Azolla pinnata* seperti CO_2, NH_3, asam organik dan H_2O, yang akan memicu *Azolla pinnata* untuk mempercepat proses penguraian bahan organik. Bahan organik diserap oleh tumbuhan *Azolla* untuk proses pertumbuhannya dibantu dengan adanya proses fotosintesis, sehingga dapat mempercepat laju tumbuhnya tanaman, selain itu proses penyerapan ion-ion oleh *Azolla pinnata* akan mencegah terjadinya penumpukan ion-ion yang bersifat racun bagi mikroorganisme.(Styani, 1999)

Proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme berlangsung melalui reaksi berikut :

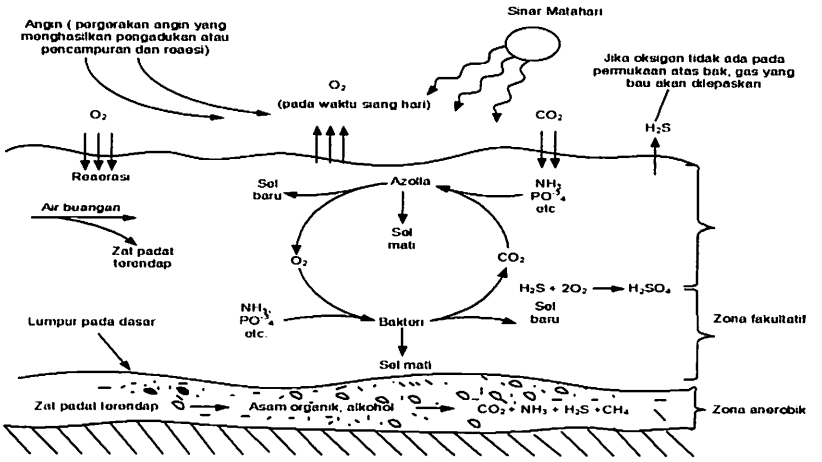
$$\begin{array}{l}\text{Bahan Organik}\\ \text{Karbohidrat}\\ \text{Protein}\\ \text{Lemak}\end{array} \xrightarrow[\text{(respirasi/fermentasi)}]{\text{Aktivitas bakteri}} \text{Asam-asam organik} + NH_3 + CO_2 + H_2O$$

Asam-asam organik akan lebih mudah diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion melalui akar tumbuhan. Reaksi pembentukan ion tersebut adalah :

$$CH_3COOH + H^+ \longrightarrow H^+ + CH_3COO^-$$
$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 \longrightarrow H + HCO_3^-$$

Perakaran tanaman *Azolla* dapat memberikan tempat hidup bagi bakteri. Zona aerob terjadi disekitar akar dan rhizoma yang mengurangi oksigen menjadi substrat.

Oksigen yang dibutuhkan untuk degradasi aerob di suplai langsung dari atmosfir dengan difusi atau pengurangan oksigen dari akar makrofita dan rhizoma pada rhizospher. Senyawa-senyawa organik didegradasi secara aerob oleh bakteri yang menempel pada bagian bawah tanaman (akar dan rizoma) dan permukaan media.



Gambar 2.10 Skema penyajian pada kolam stabilisasi air limbah (Metcalf & Eddy 1991)

2.4.2.3. Mekanisme Penurunan Total Suspendid Solid (TSS)

TSS merupakan jumlah berat mg/L kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami penyaringan (Sugiharto, 1987).

Zat padat tersuspensi merupakan salah satu komponen penting dalam limbah domestik. Keberadaan TSS dalam air limbah dapat menyebabkan kekeruhan dan warna. Selain itu TSS dalam air limbah langsung di buang ke badan air. Kekeruhan yang dilibatkan oleh TSS dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air sehingga menggangu fotosintesis tumbuhan di dasar air. Efek negatif selanjutnya adalah punahnya tumbuhan air dan konsumen lain dalam rantai makanan serta terganggunya reproduksi hewan air. Keberadaan TSS organik menjadi penyebab turunya kandungan oksigen dalam air.(Kurniawan, 2004)

Mekanisme penurunan kandungan TSS adalah melalui proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi. Proses sedimentasi terjadi dikarenakan air limbah harus

melewati jaringan akar yang cukup panjang sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap. Penghilangan padatan dengan filtrasi terjadi karena air limbah melewati media yang berpori sehingga padatan tertahan dalam pori tersebut. Proses yang terjadi adalah adsorbsi padatan pada pori-pori media Dengan waktu detensi yang lebih panjang maka padatan mempunyai kesempatan lebih besar untuk mengendap. (Wood,1990 dalam Mayangriani, 2005)

2.4.3. Konsumsi Bahan Organik Oleh Tanaman Air

Bahan organik dan nutrien pada air limbah tidak dapat diserap langsung oleh tanaman air. Bahan organik dan nutrien yang mengandung unsur-unsur C, H, O, N, S dan P tersebut harus diturunkan terlebih dahulu oleh mikroorganisme baik secara aerobik maupun anaerobik.

Bahan organik yang dapat terendap dihilangkan dengan sedimentasi dan penguraian anaerobik pada dasar. Bahan organik yang tersisa dalam air limbah diturunkan oleh aktivitas metabolisme bekteri. Proses yang dilakukan oleh mikroorganisme, yaitu oksidasi atau reduksi carbon,nitrogen dan sulfhur yang tergantung pada kesedian oksigen. Total N dalam air limbah domestik terdiri 4 bentuk, yaitu : Nitrogen organik, nitrit (NO_2-N), nitrat (NO_3-N) dan amonium (NH_4N). Nitrogen organik terdiri dari asam amino dan urea. Proses penguraian bahan organik adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{l} \text{Bahan Organik} \\ \text{Karbohidrat} \\ \text{Protein} \\ \text{Lemak} \end{array} \xrightarrow[\text{(respirasi/fermentasi)}]{\text{Aktivitas bakteri}} \text{Asam-asam organik} + NH_3 + CO_2 + H_2O$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

$$NH_4^+ + 1{,}5\ H_2O \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+ + \text{Energi}$$

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + \text{Energi}$$

$$P(\text{organik}) + O_2 + H_2O \longrightarrow H_2PO_4^-$$

Dari reaksi-reaksi diatas dihasilkan ion-ion seperti NH_4^+, NO^-, $H_2PO_4^-$ dimana ion-ion tersebut sudah siap diserap oleh tumbuhan air.

Asam-asam organik dan CO_2 yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik tersebut diabsorbsi oleh tanaman air melali akar setelah berbentuk ion, sebagai contoh yaitu ion asetat dan ion karbonat.

Bakteri pembentuk asam lebih mudah berdaptasi tetapi bakteri pembentuk methan lebih sensitive dan hanya beroperasi pada range pH 6,5 – 7,5. Produksi asam yang berlebihan oleh bakteri pembentuk asam dapat dengan cepat menghasilkan pH rendah, kemudian menghentikan aktifitas bakteri pembentuk methan dan menghasilkan produksi bau. Proses penghilangan bahan organik secara anaerobik jauh lebih lambat dibandingkan proses aerobik. Meskipun, ketika jumlah oksigen terbatas pada jumlah beban organik yang tinggi, proses anaerob akan mendominasi proses pengolahan.

4.2.4. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tanaman Air

Pertumbuhan tanaman sangat membutuhkan tersedianya makanan. Bahan makanan ini dapat diperoleh dari perputaran keadaan alam maupun dengan jalan pemupukan. Perpindahan unsur hara ion terjadi karena adanya penyerapan oleh akar tanaman.

Penyerapan unsur hara ini melibatkan beberapa proses :

a. Pergerakan ion dari dalam akar tanah menuju ke permukaan akar tanaman.

a. Pengankutan ion dimulai dalam lapisan perbatasan akar dan tanah, sedangkan pergerakan ion dari tanah ke permukaan akar bisa terjadi melalui tahap yang berbeda yaitu dengan proses diffusi, aliran massa dan pertukaran singgung.

   Pada kondisi pertumbuhan yang normal, terdapat gradient konsentrasi antara larutan tanah dan larutan di ruang bebas di antara akar, untuk beberapa jenis ion, gradient konsentrasi ini merupakan gaya gerak dari ion-ion sehingga terjadi pergerakan ion dari konsentrasi tendah tanpa adanya perpindahan media (larutan tanah).

b. Penimbunan ion dalam sel akar.

   Peoses penimbunan ini dianggap sebagai tahap pertama dalam proses penyerapan unsur hara melalui akar.

   Ion-ion yang telah melakukan perjalanan dari permukaan tanah, menempel di permukaan akar dan menembus dinding sel, melalui ketiga proses tersebut diatas, maka sampailah ion-ion pada membran sel. Dari lapisan membran sel inilah mekanisme penyerapan dimulai.

   Pengangkutan ion melalui membran sel dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengankutan pasif dan pengangkutan aktif.

c. Pergerakan secara radial dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu.

   Dalam pergerakan radial ini, ion-ion dikumpulkan (diserap) secara aktif dalam sel-sel yang aerasinya baik, pada epidermis dan korteks bagian luar. Kemudian ion-ion diangkut ke dalam melintasi endodermis dan memasuki stele melalui jalan simpkas,yaitu dengan diffusi dan pergerakan plasma.

   Sel-sel yang diaerasinnya buruk pada stele mempunyai kemampuan yang redah untuk menahan ion, sehingga cenderung membocorkannya ke dalam unsur pembulu kayu.

   Ion tidak dapat mengalir balik kembali keluar karena adanya cincin capsari pada endodermis.

d. Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun.

Pergerakan ion secara pasif melalui membran diperlukan adanya daya gerak, sehingga tercapai kesetimbangan pada dua sisi membran. Namun sebagian besar pristiwa metabolisme sel aktif tidak tercapai kesetimbangan, sebab proses-proses metabolisme menghasilkan kesetimbangan secara berkesinambungan sedangkan cairan silen mempunyai muatan listrik negatif terhadap medium luarnya. Oleh karena itu harus ada gaya yang sesuai untuk penarikan kation kedalam sel dan merintangi masuknya anion secara pasif.

2.4.5. Fotosintesis

Fotosintesis adalah penggunaan energi cahaya oleh klorofil dari tumbuhan hijau untuk menggabungkan karbondioksid dan senyawa anorganik lain menjadi sel baru. Dalam proses ini akan terbentuk oksigen yang dapat digunakan oleh bekteri heterotrofik. Tumbuhan air merupakan organisme fotosintesis yang penting dalam sistem pengolahan limbah. Karbon dioksida yang diabsorpsi oleh tumbuhan air berasal dari hasil penguraian bahan organik oleh bakteri. Selai itu, karbon dioksidasi juga dapat berasal dari pelarut karbon dioksida yang terdapat di udara.

Tahap I : Memerlukan cahaya yang disebut reaksi cahaya karena proses tersebut tergantung cahaya. Penangkapan energi cahaya secara langsung digunakan untuk pembentukan ATP dan $NADPH_2$. Dalam proses tersebut, dirubahnya CO_2 menjadi $C_6H_{12}O_6$ memerlukan input energi dan hidrogen. Klorofil menyerap energi cahaya dan melepas elektron berenergi tinggi. Energi ini ditangkap oleh dua macam aseptor, yaitu ADP dan NADP sehingga menjadi ATP dan $NADPH_2$.

$NADPH_2$ juga berfungsi sebagai pembawa hidrogen yang berasal dari fotolisis air, sehingga proses ini disebut perubahan energi cahaya menjadi energi kimia oleh klorofil.

Tahap II : Tidak memerlukan cahaya disebut reaksi gelap. Proses tersebut tidak tergantung pada cahaya, artinya reaksi tersebut dapat berlangsung

meskipun tanpa cahaya. Dalam reaksi gelap terjadi sintesis CO_2 menjadi $C_6H_{12}O_6$ dengan menggunakan energi kimia yang telah disiapkan klorofil berupa senyawa ATP dan $NADPH_2$.

Proses fotosintesis dapat digambarkan dalam bentuk reaksi sebagai berikut :

$$6CO_2 + 6H_2O \underset{\text{Energi cahaya}}{\overset{\text{Klorofil}}{\rightleftharpoons}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

2.4.6. Sedimentasi

Sistem pengolahan limbah menggunakan tumbuhan air memiliki waktu tinggal hidrolik yang lama, umumnya beberapa hari, sehingga semua padatan terendap dan terapung yang berasal dari air buangan dapat dipisahkan.

Padatan tersuspensi (SS) dihilangkan melalui proses metabolisme bakteri. Penguraian anerobik SS dan penguraian aerobik padatan terapung oleh bakteri terjadi pada bagian permukaan tumbuhan. Hasil penguraian dari padatan tersebut merupakan zat yang diperlukabn tumbuhan air dan flok-flok bakteri.

2.5. PEMANFAATAN *AZOLLA PINNATA* UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH

Azolla dapat dimanfaatkan sebagai penjernih air dan memiliki efektifitas dalam usaha peningkatan kualitas air sawah. Air sawah termasuk badan air golongan D yang digunakan untuk keperluaan pertanian, setelah ditanami *Azolla* mengalami peningkatan kualitas menjadi badan air golongan B yang dapat digunakan untuk air minum setelah dimasak terlebih dahulu (Jumpowati, 1994).

Azolla dapat memperbaiki kualitas fisik, kimia, biologi air limbah domestik. *Azolla* terbukti mampu menurunkan kandungan zat padat terlarut, zat padat tersuspensi nitrat, BOD, COD dalam air limbah domestik (Hidayat, 1995).

Azolla dapat menjadikan filter (penyaringan) air dari pencemaran logam berat. Selain itu, *Azolla* mampu menekan perkembangbiakan nyamuk terutama di air tenang atau tergenang (Arifin dalam Styani 1999).

Penggunaan *Azolla* sebagai biofilter dalam Limbah Cair Industri Tepung Kelapa (LCITK), ternyata dapat menurunkan nilai COD seber 91,16% dan BOD sebesar 90,36%. Biaya pengolahan LCITK sangat ekonomis, murah karena hanya melibatkan tanaman air *Azolla* sebagai komponen biologi lingkungan tanpa peralatan yang rumit. *Azolla* dapat berfungsi sebagai biofilter dalam proses pemurnian air yang merupakan proses purifikasi alamiah yang sangat penting (Mandey,1997, dalam Styani, 1999).

2.6. 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)*.

2.6.1. 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 infernsi 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).

2.6.2. Analisis Data Statistik dalam Minitab

Minitab merupakan salah satu program apilikasi statistika yang banyak digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistik. Minitab menyediakan program – program untuk mengolah data statistik secara lengkap. Seperti yang telah dijelaskan, komputer berperan sebagai alat bantu untuk melakukan analisis data, sedangkan manusia berperan besar dalam mendesain dan menafsirkan output yang dihasilkan Minitab (Iriawan dan Astuti, 2006).

2.6.3 Keunggulan Minitab

Keunggulan minitab adalah dapat digunakan dalam pengolahan data statistik untuk tujuan sosial maupun teknik. 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 Miniab 14, tampilan menu yang lebih lengkap dan disertai toolbar – toolbar akan memudakan 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.

2.6.4. 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 variable 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

Hipetesis untuk uji korelasi adalah :

$H_0 : \rho = 0$

$H_1 : \rho \neq 0$

Di mana ρ adalah korelasi antara 2 variabel.

Daerah Penolakan

P-Value < α .

Untuk membuat interpretai 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 variable memiliki hubungan sebab akibat.

2.6.5. 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 dapa 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 di pengaruhi suatu variabel predictor. Variabel respons sering dikenal variabel dependen karena peneliti tidak bias bebas mengendalikannya. Kemudian, variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respons dan sering disebut variabel independent karena penelitian bebas mengendalikannya.

2.6.6. 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

$H_0 : \tau 1 \quad \tau 2 \quad \tau 3 \quad \tau 4 \quad \tau 5 \quad 0$

(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 α 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 α .

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

3.1.1 Variabel Terikat

a. Penurunan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

b. Penurunan BOD (*Biological Oxygen Demand*)

c. Penurunan TSS (*Total Suspended Solid*)

3.1.2 Variabel Bebas

- Kerapatan tanaman : 10 mg/cm^2, 20 mg/cm^2, 30 mg/cm^2.

  Variasi kerapatan tanaman disesuaikan dengan ukuran reaktor dan ukuran tanaman uji.

- Waktu pengambilan sampel : 2 hari, 4 hari, 6 hari.

  Variasi waktu detensi disesuaikan dengan waktu maksimum tanaman dapat bertahan dalam air limbah tahu selama 6 hari, pada saat melakukan uji analisa pendahuluan.

3.2 Alat-Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a) Reservoir

Bak reservoir berfungsi untuk menampung air limbah cair produksi tahu sebelum dialirkan ke dalam reaktor. Bak reservoir terbuat dari kaca dan berbentuk persegi panjang dengan panjang 50 cm, lebar 35 cm, dan tinggi 20 cm. Dengan volume sebesar ± 35 L.

b) Reaktor tanaman

Dibutuhkan 2 bak reaktor rangkaiaan paralel dengan panjang 40, lebar 30 cm dan tinggi 15 cm dengan volume air sebesar 12 L, masing-masing bak ditanami *Azolla pinnata* untuk penurunan kosenterasi limbah BOD, COD dan TSS. Air dari bak reservoir dialirkan secara gravitasi dengan debit aliran yang telah ditentukan, dan lamanya waktu detensi air limbah di dalam reaktor adalah 2, 3, 6 hari.

Gambar 3.1 Reaktor rangkaian paralel

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

- Limbah cair produksi tahu.
- *Azolla pinnata* sebagai tanaman uji.

b) Reaktor lumpur

Dibutuhkan 2 buah reaktor rangkaian paralel dengan panjang 40, lebar 30 cm dan tinggi 15 cm dengan volume air sebesar 12 L, masing-masing buah ditanami *Azolla pinnata* untuk pemurnian kosentrasi limbah BOD, COD dan TSS. Air dari bak reservoir dialirkan secara gravitasi dengan debit aliran yang telah ditentukan, dan lamanya waktu detensi air limbah di dalam reaktor adalah 2, 3, 6 hari.

Gambar 3.1 Reaktor rangkaian paralel

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

- Limbah cair produksi tahu.
- *Azolla pinnata* sebagai tanaman uji.

Tanaman uji yang digunakan dalam penelitian ini dipilih yang masih segar dan sehat yang mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

- Tanaman yang masih muda dengan ciri-ciri daun berwarna hijau segar.
- Tidak terdapat cacat fisik baik pada daun maupun akar tanaman.
- Panjang tanaman kurang lebih 5- 10 mm.

3.3 Penelitian Pendahuluan

3.3.1 Analisa Awal Media Tanam

Analisis parameter-parameter (COD, BOD, TSS dan pH) dilakukan dengan standart prosedur analisis yang terdapat pada Standart Methods (APHA, 1998 dan Alaerts dan Santika, 1987).

Tabel 3.1. Metode Analisis Laboratorium

No.	Parameter	Metoda Analisis
1.	COD	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998
2	BOD	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)
3	TSS	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998
4.	pH	pH meter

3.3.2 Aklimatisasi

Sebelum diaplikasikan untuk menurunkan BOD, COD dan TSS terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi *Azolla pinnata.* Tujuan proses aklimatisasi ini adalah supaya *Azolla pinnata* dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang nantinya akan menjadi media tumbuhnya. Sebelum dilakukan aklimatisasi, terlebih dahulu dilakukan pemilihan tanaman *Azolla pinnata* yang sehat dan segar agar selama pelaksanaan penelitian tanaman dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik.

Proses aklimatisasi tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Persiapan media tanam *Azolla pinnata*.
2. Pemilihan tanaman *Azolla pinnata* yang sehat dan segar serta tidak tercampur dengan spesies varietas yang lain
3. Penanaman *Azolla pinnata* pada media tanam selama 3 hari. Karena dalam waktu 3 hari *Azolla pinnata* sudah mampu untuk beradaptasi dengan limbah cair produksi tahu. Jumlah tanaman yang diaklimatisasi disesuaikan dengan kebutuhan.
4. Sistem pencahayaan yang digunakan adalah sistem pencahayaan alami (sinar matahari).
5. Setelah 3 hari, dilakukan pemilihan *Azolla pinnata* yang segar dan sehat selanjutnya siap untuk diaplikasikan, dimana sebelumnya dicuci terlebih dahulu.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini sistem proses yang digunakan adalah sistem kontinyu, dimana penelitian dilakukan pada reaktor dengan pemberian input selama proses penelitian berlangsung. Dimana pada penelitian ini, meliputi variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu detensi. Pada waktu yang telah ditentukan, dilakukan pengamatan untuk mengukur kandungan BOD, COD, TSS dan pH, dan kerapatan tanaman pada media tanaman.

3.4.1 Penelitian Dengan Variasi Kerapatan Tanaman *Azolla Pinnata* dan Waktu Detensi.

Variasi kerapatan dimaksudkan untuk mengetahui kerapatan optimum terhadap penurunan kandungan zat organik BOD, COD dan TSS oleh *Azolla pinnata*.

Menurut Arifin, 1996, pada lahan pembibitan *Azolla pinnata*, dengan bibit *Azolla pinnata* sebanyak 2 ton/ha (20 mg/cm^2), dalam waktu 20 hari lahan akan

tertutup penuh oleh *Azolla pinnata*. Diperkirakan hasil panen *Azolla pinnata* segar akan dapat mencapai 10 ton/ha.

Dengan mengacu pada pendapat tersebut diatas maka pada penelitian ini ditentukan variasi kerapatan awal *Azolla pinnata* antara 10-30 mg/cm^2. Selanjutnya, prosedur untuk penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. pH awal diatur antara 5-6 agar diperoleh laju pertanaman *Azolla pinnata* yang maksimum.
2. *Azolla pinnata* yang telah diaklimatisasi ditiriskan dengan cara meletakkan pada kasa penyaring halus dan ditekan dengan tangan secara hati-hati agar air yang melekat terbuang.
3. Variasi kerapatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 mg/cm^2, 20 mg/cm^2, 30 mg/cm^2 (berat basah *Azolla pinnata* luas permukaan wadah). Ditimbang *Azolla pinnata* sesuai dengan masing-masing variasi kerapatan. Sehingga berat basah *Azolla pinnata* untuk masing-masing variasi kerapatan dapat dilihat pada tabel 3.2 Kemudian *Azolla pinnata* diaplikasikan pada media tanaman yang telah tersedia.
4. Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap tanaman uji, perubahan pH, perubahan suhu, konsentrasi BOD, COD dan TSS pada waktu yang telah ditentukan yaitu 2 hari, 4 hari, 6 hari. Untuk memperoleh sampel yang representatif, maka cara pengambilan sampel dari media tanam dilakukan dengan menggunakan botol sampel. Sampel yang telah diambil langsung dianalisa sehingga tidak memerlukan pengawetan sampel. Sebelum dianalisa, sampel dipisahkan dari kotoran-kotoran pengganggu seperti akar- akar *Azolla pinnata* yang mati.

Tabel 3.2. Variasi Kerapatan Awal *Azolla Pinnata*

No. Reaktor	Kerapatan (mg/cm^2)	Luas permukaan reaktor (cm^2)	Berat basah *Azolla pinnata* (mg)	Waktu detensi (hari)
1	Kontrol	1200	0	2, 4, 6
2	10	1200	12.000	2, 4, 6
3	20	1200	24.000	2, 4, 6
4	30	1200	36.500	2, 4, 6

3.4.2. Pengukuran Pertanaman Tanaman

Pengukuran pertanaman tanaman dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan keadaan awal dan akhir pada masing-masing pada reaktor. Pada tanaman *Azolla pinnata* dilihat berdasarkan kerapatan. Jumlah kerapatan tanaman ditentukan dengan cara melakukan penimbangan berat basah tanaman terlebih dahulu sebelum dilakukan penanaman pada reaktor. Setelah berada di media tanam selama waktu yang ditentukan kemudian dilakukan kembali penimbangan berat basah *Azolla pinnata*, selanjutnya dapat dilakukan penghitungan nilai kerapatan dengan menggunakan rumus RGR *(Relative Growth Rate)*.

Apabila nilai RGRnya negatif menunjukkan jumlah *Azolla pinnata* pada reaktor berkurang, sedangkan apabila nilai RGRnya positif menunjukkan jumlah *Azolla pinnata* bertambah. Tanaman yang akan ditimbang di angin-anginkan selama beberapa menit hingga air pada tanaman berkurang.

$$RGR = \frac{\text{Berat 1} - \text{Berat 0}}{\text{waktu}}$$

Dimana :

RGR = *Relative Growth Rate*

Berat 0 = Berat tumbuhan sebelum di tanam pada media limbah tahu (dinyatakan dalam berat basah tanaman (g)).

Berat 1 = Berat basah tumbuhan sesudah di tanam pada media limbah tahu (dinyatakan dalam berat basah tanaman (g))

Waktu n hari. N = 2 hari, 4 hari, 6 hari

3.4.3. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Untuk mengetahui kandungan bahan organik dalam air limbah, parameter yang paling umum digunakan adalah BOD, yaitu pengukuran BOD_5^{20} yang dilakukan pada suhu 20 °C selama 5 hari. Dalam waktu 5 hari tersebut diharapkan reaksi oksidasi bahan organik telah mencapai sebesar 75% Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan bahan pencemar akibat buangan dari limbah tahu dan sebagai dasar untuk mendesain sistem pengolahan biologis dari air limbah tersebut.

3.4.4. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Uji COD biasanya menghasilkan bahan organik secara kimia. Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD, karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologis dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Hal ini menjadi keterbatasan utama uji COD karena ketidak mampuannya untuk membedakan antara bahan organik yang dapat teroksidasi oleh mikroorganisme (*biodegradabel*) dan yang tidak dapat dioksidasi oleh mikroorganisme (*non biodegradable*). Sedangkan keuntungan utama dari uji COD adalah sedikitnya waktu yang dibutuhkan untuk mengevaluasi 96% hasil uji COD yang dilakukan selama 10 menit akan setara dengan hasil uji BOD selama 5 hari.

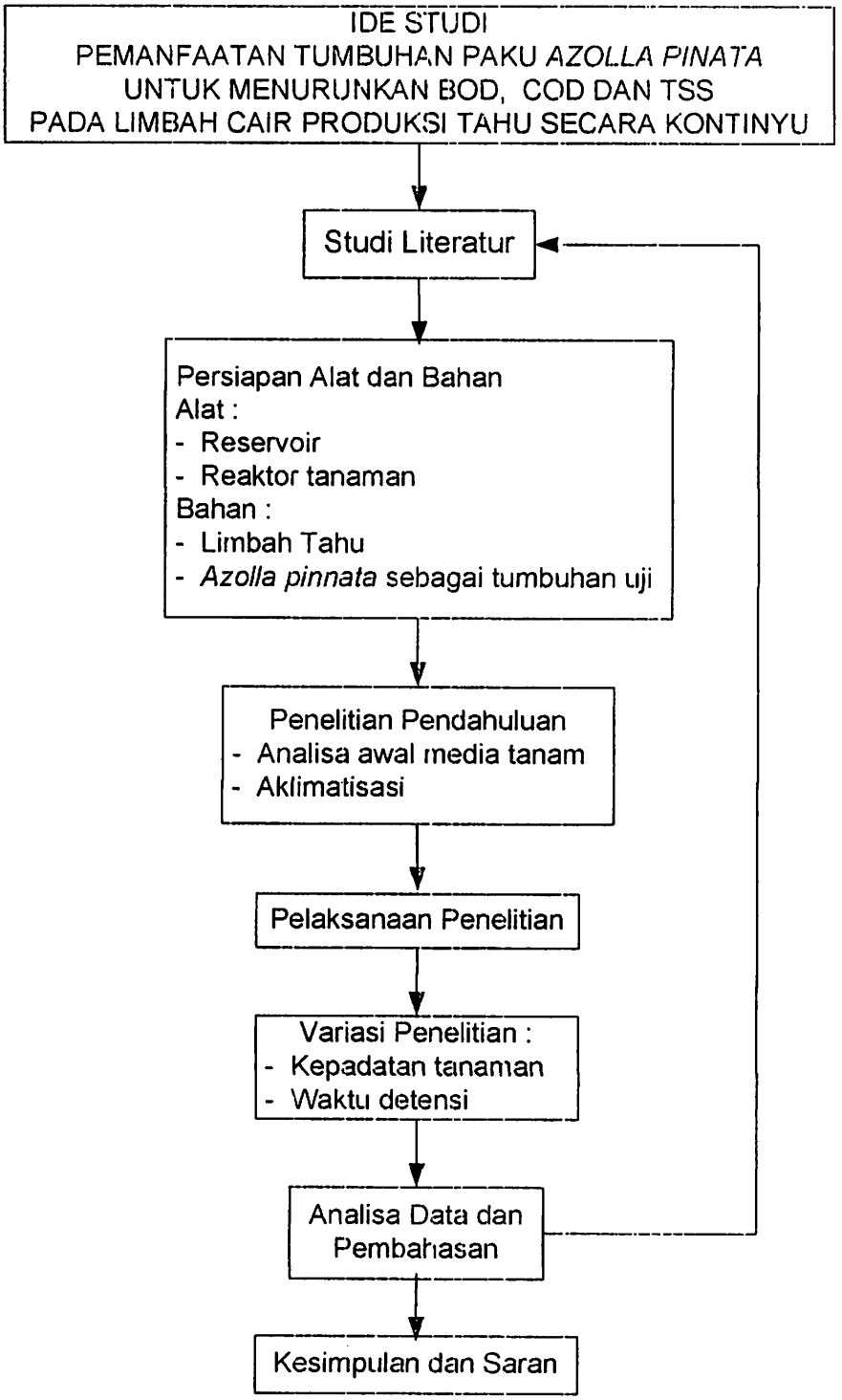
3.4.5. Analisis TSS

TSS dapat diklasifikasikan menjadi zat padat terapung yang selalu bersifat organis dan zat padat terendap yang dapat bersifat organis dan anorganis. Pada

umumnya material yang terlingkup dalam TSS berupa tanah liat, kwarts, protein, sisa tanaman dan bakteri. Limbah yang mengandung TSS tinggi dapat merusak ekosistem perairan sebagai badan air penerima. Material TSS dapat menghalangi sinar matahari menembus lapisan perairan, sehingga proses fotosintesis menurun yang menyebabkan konsentrasi oksigen menurun pula. Konsentrasi oksigen yang menurun mengakibatkan kematian pada makhluk hidup perairan tersebut dan hal ini akan meningkatkan proses nitrifikasi.

3.5 Analisis Data dan Pembahasan

Hasil percobaan yang didapat dilakukan analisis data dengan Analisa data menggunakan ANOVA bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak (secara statistik) antara berbagai variasi percobaan (variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu detensi) terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah tahu. Analisa korelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel bebas dan terikat. Analisa regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel bebas dapat memprediksi variabel terikat.


IDE STUDI
PEMANFAATAN TUMBUHAN PAKU *AZOLLA PINATA*
UNTUK MENURUNKAN BOD, COD DAN TSS
PADA LIMBAH CAIR PRODUKSI TAHU SECARA KONTINYU
Studi Literatur
Persiapan Alat dan Bahan
Alat :
- Reservoir
- Reaktor tanaman
Bahan :
- Limbah Tahu
- *Azolla pinnata* sebagai tumbuhan uji
Penelitian Pendahuluan
- Analisa awal media tanam
- Aklimatisasi
Pelaksanaan Penelitian
Variasi Penelitian :
- Kepadatan tanaman
- Waktu detensi
Analisa Data dan Pembahasan
Kesimpulan dan Saran

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR INDUSTRI PRODUKSI TAHU

Dalam penelitian ini dilakukan analisis pendahuluan untuk memperoleh data karekteristik air limbah awal. Berdasarkan analisis laboratorium yang dilakukan, diperoleh data karekteristik air limbah cair produksi tahu awal sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil Analisis Awal Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Hasil	(Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Tahu Dan Kecap/ Tempe) Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002
BOD	2043,3	150 mg/l (Kadar Maksimum)
COD	3026,4	300
TSS	638,2	100
pH	5,22	6 – 9
Temperatur	23 ^{0}C	-

Sumber : Hasil Penelitian

4.2. HASIL PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan reaktor rangkaiaan paralel yang terbuat dari bahan kaca berbentuk persegi panjang. Air dari bak reservoir dialirkan secara gravitasi, serta menggunakan penyinaran matahari dan sirkulasi oksigen secara langsung. Variasi kerapatan tanaman *Azolla pinnata* yaitu : 20 mg/cm^2, 40 mg/cm^2, dan 60 mg/cm^2.

Dalam penelitian ini dilakukan pengenceran terhadap air limbah, yaitu dengan variasi air limbah dan air pengencer sebesar 20% (2 liter aquadest dan 8 liter air limbah), 40% (4 liter aquadest dan 6 liter air limbah), dan 50% (5 liter aquadest dan 5 liter air limbah), setelah proses aklimatisasi didapat hasil yang optimal untuk pertanaman tanaman uji yaitu dengan variasi air limbah dan air pengencer sebesar 50%, yang dimaksud optimal untuk pertanaman tanaman adalah apabila tanaman dapat tumbuh subur dan tidak mengalami kematian serta muncul tanaman baru.

Hasil penelitian penurunan konsentrasi BOD, COD, dan TSS dengan menggunakan tanaman *Azolla pinnata* dengan variasi kerapatan tanaman 10 mg/cm^2, 20 mg/cm^2, dan 30 mg/cm^2, dan variasi waktu pengambilan sampel selama 2 hari, 4 hari, dan 6 hari dapat dilihat pada Tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Nilai Konsentrasi Akhir BOD, COD, dan TSS

Hari ke	Variasi kerapatan tanaman	Penurunan konsentrasi BOD akhir (mg/L)	Penurunan Konsentrasi COD Akhir (mg/L)	Penurunan Konsentrasi TSS Akhir (mg/L)
2.	Kontrol (tanpa *Azolla*)	2004,5	2959,8	624,6
	10	1426,2	2039,6	438,3
	20	1295,4	1864,3	402,7
	30	1195,2	1691,6	368,7
4	Kontrol (tanpa *Azolla*)	1849,2	2681,4	571
	10	1056,4	1495,3	327,4
	20	935,5	1316,4	286,4
	30	788,7	1113,4	239,7
6.	Kontrol (tanpa *Azolla*)	1736,8	2469,5	532,7
	10	698,7	971,3	213,8
	20	610,2	871,5	173,4
	30	439,4	593,3	123,2

Tabel 4.3 Nilai Persentase Penurunan Konsentrasi BOD, COD, dan TSS

Hari ke	Variasi Kerapatan (mg/cm^2)	% Penurunan Konsentrasi BOD	% Penurunan Konsentrasi COD	% Penurunan Konsentrasi TSS
2.	Kontrol (tanpa *Azolla*)	1,9	2,2	2,1
	10	30,6	32,6	31,3
	20	36,6	38,4	36,9
	30	41,2	44,1	42,2
4	Kontrol (tanpa *Azolla*)	9,5	11,4	10,5
	10	48,3	50,6	48,7
	20	54,2	56,5	55,1
	30	61,4	63,2	62,4
6.	Kontrol (tanpa *Azolla*)	15,2	18,4	16,5
	10	65,8	67,9	66,5
	20	70,1	71,2	72,8
	30	78,5	80,4	80,7

(*Sumber : Hasil Penelitian*)

Dari Analisis pertanaman tanaman *(Relative Growth) Azolla pinnata*, dapat dilihat pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4 Nilai Pertumbuhan Tanaman *(Relative Growth) Azolla Pinnata*

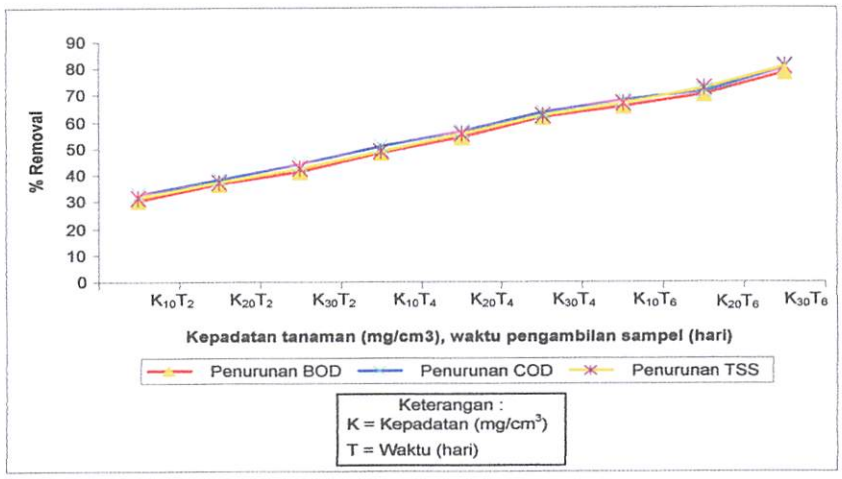
Variasi Kepadatan (mg/cm^2)	Variasi Waktu (hari)	Berat Awal (mg)	Berat Akhir (mg)	Pertumbuhan Tanaman (mg/hari)
10	2	0.12	0,21	0,045
20	2	0, 14	0,22	0,040
30	2	0,15	0,24	0,045
10	4	0.12	0,34	0,.055
20	4	0, 14	0,35	0,052
30	4	0,15	0.37	0,055
10	6	0.12	0,42	0,050
20	6	0, 14	0,45	0,051
30	6	0,15	0,48	0,055

Pertumbuhan tanaman *Azolla pinnata* yang paling baik terjadi pada variasi kerapatan tumbuhan 20 mg/cm^2, hal ini dapat disebabkan oleh jumlah tumbuhan *Azolla pinnata* dalam reaktor belum terlalu padat sehingga pengambilan unsur-unsur nutrien yang terdapat dalam media tanam dapat diserap dengan maksimal oleh tumbuhan untuk pertumbuhannya. Sedangkan pada variasi kerapatan tumbuhan 10 mg/cm^2 merupakan pertumbuhan terendah, karena jumlah tanaman di dalam reaktor yang terlalu sedikit menyebapkan tumbuahan tersebut bergerak melayang diatas air yang dapat menggangu sistem perakaran dalam meyerap bahan organik sehingga pertumbuhanya tidak optimal, sedangkan pada variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2, jumlah tanaman *Azolla pinnata* lebih padat sehingga mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri, oleh karena itu pertumbuhan *Azolla pinnata* tidak terlalu besar. Menurut (Sitompul dan Guritno, 1995) mengatakan bahwa makin rapat tumbuhan yang ada disuatu area, maka kompetisi yang terjadi untuk mendapatkan nutrien semakin besar, sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan dari tumbuhan itu sendiri.

4.3. ANALISIS DATA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi BOD, COD dan TSS pada setiap perlakuan variasi kapadatan tanaman seiring

pertambahan waktu. Konsentrasi akhir % Removal BOD, COD, dan TSS dapat dilihat pada Tabel 4.3 yang diplotkan pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara %Removal BOD, COD, TSS, Pada Berbagai Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel

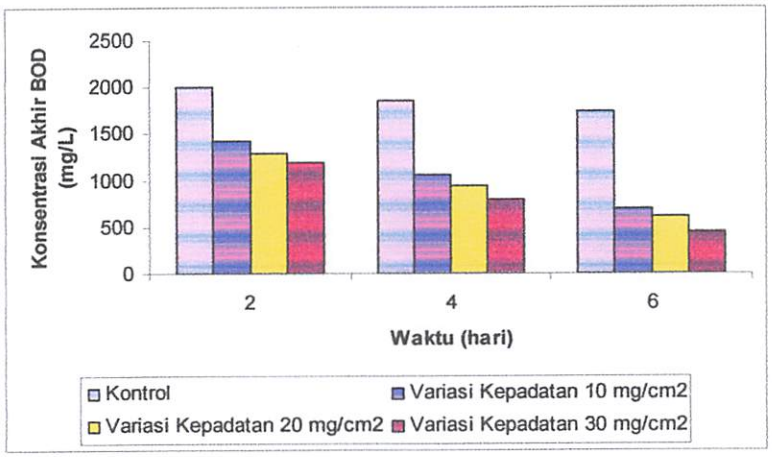
Berdasarkan Gambar grafik 4.1 terlihat bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi BOD, COD, dan TSS seiring dengan pertambahan kerapatan tanaman dan lamanya waktu pengambilan sampel. Penurunan konsentrasi BOD terkecil terjadi pada waktu pengambilan sampel 2 hari dengan kerapatan 10 mg/cm2, BOD turun 30,2%, COD 32,6 % dan TSS 31,3 % dan penurunan persentase konsentrasi terbesar terjadi pada waktu pengambilan sampel 6 hari dengan kerapatan 30 mg/cm^2, BOD turun 78,5%, COD 80,4 % dan TSS 80,7% Hal ini membuktikan bahwa tanaman *Azolla pinnata* mampu menyerap BOD, COD, dan TSS dengan sempurna, karena semakin lama waktu pengambilan sampel dan semakin banyaknya kerapatan *Azolla* maka persentase konsentrasi limbah akan semakin banyak berkurang.

4.4. ANALISIS PENURUNAN KONSENTRASI BOD

4.4.1 Analisis Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi akhir BOD pada setiap perlakuan variasi kapadatan tanaman seiring pertambahan

waktu. Konsentrasi akhir BOD dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang diplotkan pada Gambar 4.2:



Gambar. 4.2. Grafik Konsentrasi Akhir BOD

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 terlihat bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi akhir BOD seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini membuktikan bahwa tanaman *Azolla pinnata* mampu menyerap BOD dengan sempurna.

Penurunan BOD, pada reaktor yang ditanami *Azolla* selalu lebih besar dari pada tidak ditanami *Azolla* (kontrol). Hal ini terjadi karena pada reaktor yang ditanami *Azolla* terjadi penyerapan bahan-bahan organik maupun unsur-unsur hara (ion-ion hasil penguraian) oleh *Azolla*, sehingga proses penguraian bahan organik semakin terpacu. Sedangkan kontrol, penyerapan hasil penguraian mikroorganisme dilakukan oleh ganggang, kurang efektif jika dibandingkan dengan *Azolla* karena keberadaan gangga dalam air limbah merupakan bentuk pencemaran sekunder. Ganggang yang ada sulit dipisahkan dari air limbah sehingga konsentrasi bahan organik dalam limbah relatif tidak berkurang.

Pada hari ke-2 penurunan konsentrasi akhir BOD sudah terjadi, untuk tanaman *Azolla pinnata* dengan variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi sebesar 1426,2 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 1295,4 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 sebesar 1195,2 mg/l. Begitu juga pada hari ke-4, sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi akhir BOD

pada semua variasi kerapatan tanaman. Pada saat hari ke-6 terjadi penurunan konsentrasi akhir BOD yang terbesar untuk semua variasi kerapatan tanaman, yaitu pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi sebesar 698,7 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 610,2 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi BOD terbesar yaitu sebesar 439,4 mg/l.

Untuk mengetahui persentase penurunan konsentrasi BOD setiap variasi kerapatan tanaman dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

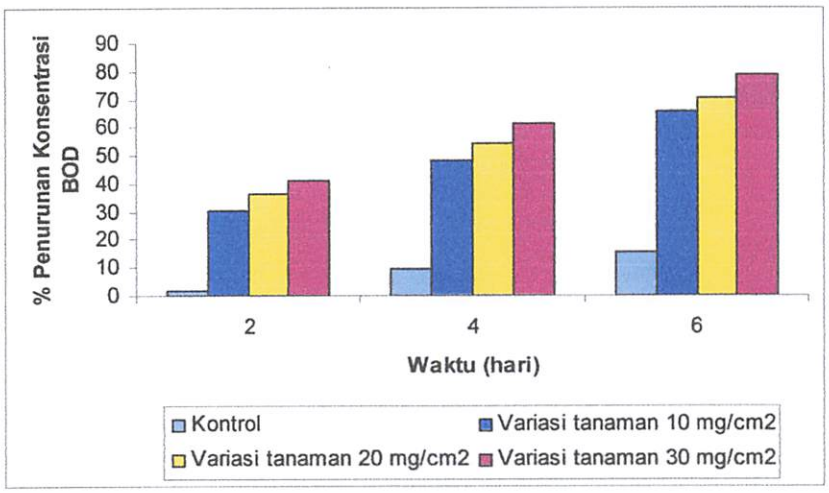
$$\%R = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} x100\%$$

Perhitungan persentase penurunan konsentrasi BOD dapat dilihat pada Tabel 4.5 yang diplotkan pada Gambar 4.3 :

Tabel 4.5 Nilai Persentase Penurunan BOD

Hari Ke-	Variasi Kerapatan (mg/cm^2)	% Penurunan Konsentrasi BOD
2	Kontrol	1,9
	10	30,6
	20	36,6
	30	41,2
4	Kontrol	9,5
	10	48,3
	20	54,2
	30	61,4
6	Kontrol	15,2
	10	65,8
	20	70,1
	30	78,5

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.3 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi BOD

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.3 didapatkan persentase penurunan konsentrasi BOD, yaitu pada hari ke-2 dengan variasi kerapatan tanaman 10 mg/cm^2, mampu menurunkan konsentrasi BOD sebesar 30,2% sedangkan pada variasi kerapatan tanaman 20 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan BOD sebesar 36,6% dan pada variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan BOD sebesar 41,5%. Sedangkan pada hari ke-4 sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi BOD. Penurunan konsentrasi BOD tertinggi terjadi pada hari ke-6 dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 sebesar 78,5% .

4.4.2 Uji Statistik

Uji statistik ini menggunakan metode Anova *one way* dengan sofware bantu Minitab 14.

4.4.3. Analisis ANOVA

4.4.3.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kepadatan tanaman terhadap persentase penurunan BOD maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD

One-way ANOVA: Penurunan BOD, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	35309	17654	167.81	0.000
Error	78	8206	105		
Total	80	43515			

S = 10.26 R-Sq = 81.14% R-Sq(adj) = 80.66%

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

Hipotesis hasil uji ANOVA :

- H_0 = Ke-3 perlakuan adalah tidak berbeda nyata/identik.
- H_1 = Ke-3 perlakuan adalah berbeda nyata/identik.

Dasar pengambilan keputusan :

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel

- 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* adalah 167,81 jika dilihat $F_{(0,05,;2,78)}$ hitung pada tabel 3,11 adalah dengan α toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesa awal (H_0) dan menerima hipotesa alternative H_1. Atau ke-3 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik/ berbeda nyata.

Selain menggunakan uji F, dapat pula menggunakan uji P pada Tabel 4.5. Diperoleh nilai koefisien P sebesar 0.000. Ini berarti keputusanya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Atau ke tiga perlakuan memiliki rata-rata persentasi penurunan yang tidak sama/ berbeda nyata.

4.4.3.2. Analisis Duncan

Hasil Analisis ANOVA, peneliti dapat menarik kesimpulan apakah suatu perlakuan berpengaruh nyata atau tidak terhadap respon yang diamati, tetapi tidak

dapat menentukan perlakuan mana yang berpengaruh nyata. Oleh karena itu, uji lanjut dilakukan setelah ANOVA adalah dengan melakukan uji Duncan, untuk mengetahui perlakuan mana yang signifikan/berpengaruh nyata/berbeda nyata.

Tabel 4.7 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan BOD

Duncan[a]

UJI	N	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{10}T_2$	3	30.6								
$K_{20}T_2$	3		36.6							
$K_{30}T_2$	3			41.2						
$K_{10}T_4$	3				48.3					
$K_{20}T_4$	3					54.2				
$K_{30}T_4$	3						61.4			
$K_{10}T_6$	3							65.8		
$K_{20}T_6$	3								70.1	
$K_{30}T_6$	3									78.5
Sig		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in hornogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Keterangan :

$K_{10}T_2$: Waktu pengambilan sampel 2 hari dengan kerapatan tanaman 10 mg/cm^2.

$K_{20}T_2$: Waktu pengambilan sampel 2 hari dengan kerapatan tanaman 20 mg/cm^2.

$K_{30}T_2$: Waktu pengambilan sampel 2 hari dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2.

$K_{10}T_4$: Waktu pengambilan sampel 4 hari dengan kerapatan tanaman 10 mg/cm^2.

$K_{20}T_4$: Waktu pengambilan sampel 4 hari dengan kerapatan tanaman 20 mg/cm^2.

$K_{30}T_4$: Waktu pengambilan sampel 4 hari dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2.

$K_{10}T_6$: Waktu pengambilan sampel 6 hari dengan kerapatan tanaman 10 mg/cm^2.

$K_{20}T_6$: Waktu pengambilan sampel 6 hari dengan kerapatan tanaman 20 mg/cm^2.

$K_{30}T_6$: Waktu pengambilan sampel 6 hari dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2.

Hasil uji Duncan pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada % Removal konsentrasi BOD. Untuk % Removal terendah terlihat pada perlakuan $K_{10}T_2$ (kerapatan tanaman 10 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 2 hari) sebesar 30,60 % sedangkan untuk % Removal tertinggi terlihat pada perlakuan $K_{30}T_6$ (kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 6 hari) sebesar 78,50 %. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin padat tanaman dan semakin lama waktu pengambilan sampel maka proses penyerapan kandungan konsentrasi BOD akan semakin tinggi.

4.4.4. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi BOD dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.8 :

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 : Tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel
- H_1 : Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas:

- Jika Probabilitas $\geq$ 0,05, maka Ho diterima.
- Jika Probabilitas < 0,05, maka Ho ditolak.

Tabel 4.8 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan BOD

Item		Uji Korelasi		Keputusan	Kesimpulan
		Korelasi	P-Value		
Penurunan BOD	Kerapatan Tanaman	0.3330	0.093	Terima	Tidak adanya hubungan yang signifikan antara jenis tanaman dengan presentase penurunan konsentrasi BOD
	Waktu pengambilan sampel	0.943	0.000	Tolak	Ada hubungan yang signifikan antara waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi BOD

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi BOD tidak berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan kerapatan tanaman. Namun persentase penurunan konsentrasi BOD berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan variasi waktu pengambilan sampel.

Karena nilai korelasinya 0,33 (kerapatan tanaman) dan 0.943 (waktu pengambilan sampel) maka hubungan antara variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi BOD adalah positif. Artinya, apabila variasi kerapatan, jenis tanaman dan waktu penelitian meningkat, maka persentase penurunan konsentrasi BOD akan meningkat.

4.4.5. Analisis Regresi

Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel) terhadap variabel terikat (persentasi penurunan BOD) digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikasi prediksi

dari hubungan/korelasi data. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 :

Tabel 4.9 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi BOD

Regression Analysis: Penurunan BOD versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

```
The regression equation is
Penurunan BOD = 6.33 + 0.618 Variasi Tanaman + 8.84 Waktu (hari)


Predictor           Coef  SE Coef      T      P
Constant          6.3333   0.5907  10.72  0.000
Variasi Tanaman  0.61833  0.02006  30.82  0.000
Waktu (hari)      8.8417   0.1003  88.14  0.000


S = 0.851225   R-Sq = 99.7%   R-Sq(adj) = 99.7%
```

Tabel 4.10 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi BOD

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6316.8	3158.4	4358.93	0.000
Residual Error	24	17.4	0.7		
Total	26	6334.2			

1) Persamaan regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada Tabel 4.9 Maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$Y = 6.33 + 0.618\ X_1 + 8.84\ X_2$

Dimana :

Y = Penurunan konsentrasi BOD

X_1 = Variasi kerapatan tanaman

X_2 = Variasi waktu pengambilan sampel

Koefisien regresi sebesar 0.618 untuk variabel X_1 (variasi kerapatan tanaman) menyatakan bahwa variasi kerapatan tanaman akan meningkat persentase penurunan BOD sebesar 0.618 dengan anggapan variabel lain besarnya

konstan. Sedangkan koefisien regresi 8,84 untuk variabel X_2 (variasi waktu pengambilan sampel) menyatakan bahwa setiap penambahan 2 hari waktu pengambilan sampel akan meningkatkan persentase penurunan BOD sebesar 8,84 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2) Uji signifikasi koefisien regresi

Hipotesis :

1. Ho : koefisien regresi tidak signifikan
2. 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 $T_{(0.025;24)}$ tabel adalah 2,064 Sedangkan nilai T hitung berdasarkan Tabel 4.9 adalah 30,82 (variasi kerapatan tanaman) dan 88.14 (variasi waktu pengambilan sampel). Semua nilai T hitung lebih besar dari T tabel, maka koefisien regresi signifikan.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

a. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima

b. Jika probabilitas < 0,05 H_0 ditolak

Pada Tabel 4.9 Nilai P untuk variasi jenis reaktor adalah 0,000 dan untuk variasi waktu pengambilan sampel adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh dibawah 0,05. Dengan demikian H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan atau variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar BOD.

3) Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R-square sebesar 99,7% hal ini berart 99.7% penurunan kadar BOD dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel. Sedangkan

sisanya 0,3% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4) Uji Kelinearan

Hipotesa :

Hipotesis :

- H_0 : Y tidak memiliki hubungan linier dengan X
- H_1 : Y memiliki hubungan linier dengan X

Dimana : Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a) Berdasarkan nilai F

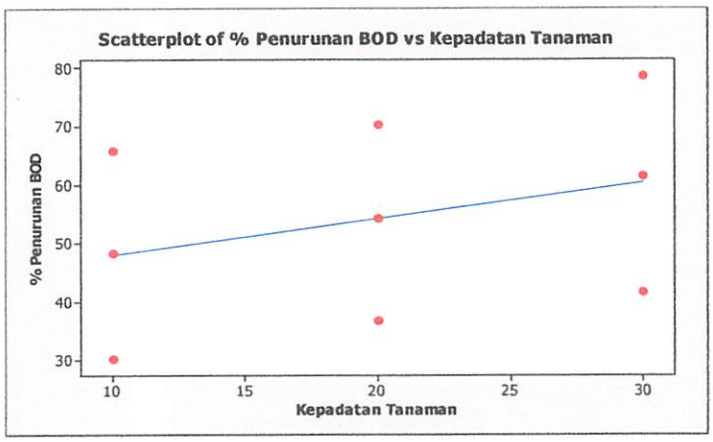
- Jika F hitung > F tabel. H_1 diterima.
- Jika F hitung > F tabel. H_1 ditolak.

Dari uji kelinieran pada Tabel 4.10 didapat nilai F hitung sebesar 4358,93 Sedangkan nilai $F_{(0,05;2,24)}$ tabel sebesar 3,40 Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulan adalah Y (variabel terikat) memiliki hubungan linier dengan X (variabel bebas) atau dengan kata lain, persentase penurunan BOD dengan kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel mempunyai hubungan linier.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

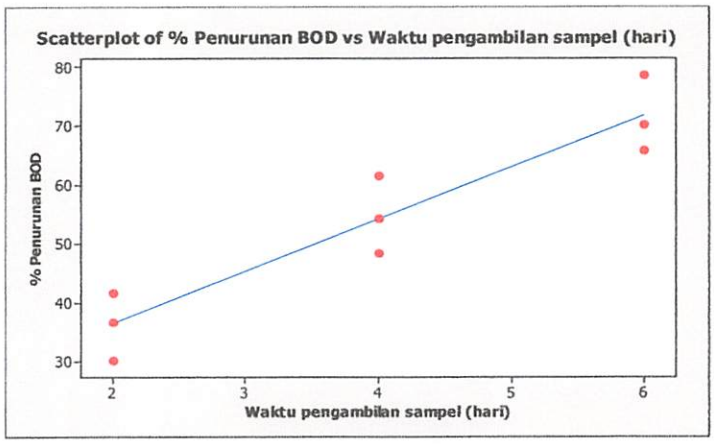
- Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima
- Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak

Pada Tabel 4.10 nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi penurunan kadar BOD.



Gambar 4.4: Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi BOD

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa untuk variasi kerapatan tanaman, semakin tinggi variasi kerapatan tanaman proses presentase penurunan COD akan semakin tinggi, yaitu presentase penurunan terbesar terjadi pada kerapatan 30 mg/cm^2 mampu menurunkan kandungan BOD di dalam limbah sebesar 78,5%



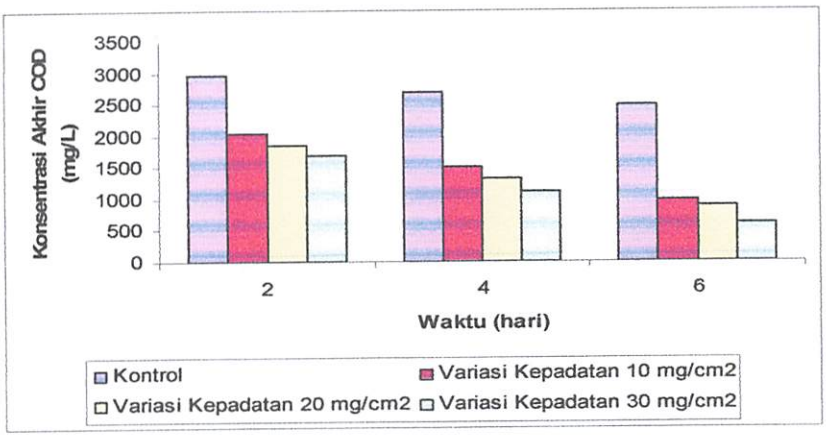
Gambar 4.5 : Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi BOD

Grafik 4.5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengambilan sampel maka persentase penurunan COD akan semakin besar, yaitu persentase penurunan terbesar terjadi pada hari ke-6, COD bisa turun menjadi 78,50%.

4.5. ANALISIS PENURUNAN KONSENTRASI COD

4.5.1. Analisis Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD pada setiap perlakuan variasi kapadatan tanaman seiring pertambahan waktu. Konsentrasi akhir COD dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang diplotkan pada Gambar 4.6 :



Gambar. 4.6 Grafik Konsentrasi Akhir COD

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi akhir COD seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini membuktikan bahwa tanaman *Azolla pinnata* mampu menyerap COD dengan sempurna.

Penurunan COD, pada reaktor yang ditanami *Azolla* selalu lebih besar dari pada tidak ditanami *Azolla* (kontrol). Hal ini terjadi karena pada reaktor yang ditanami *Azolla* terjadi penyerapan bahan-bahan organik maupun unsur-unsur hara (ion-ion hasil penguraian) oleh *Azolla*, sehingga proses penguraian bahan organik semakin terpacu. Sedangkan kontrol, penyerapan hasil penguraian mikroorganisme dilakukan oleh ganggang, kurang efektif jika dibandingkan dengan *Azolla* karena keberadaan gangga dalam air limbah merupakan bentuk pencemaran sekunder. Ganggang yang ada sulit dipisahkan dari air limbah sehingga konsentrasi bahan organik dalam limbah relatif tidak berkurang.

Pada hari ke-2 penurunan konsentrasi akhir COD sudah terjadi, untuk tanaman *Azolla pinnata* dengan variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan

konsentrasi sebesar 2039,6 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 1864,3 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 sebesar 1691,6 mg/l. Begitu juga pada hari ke-4, sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi akhir COD pada semua variasi kerapatan tanaman. Pada saat hari ke-6 terjadi penurunan konsentrasi akhir COD yang terbesar untuk semua variasi kerapatan tanaman, yaitu pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi sebesar 971,3 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 871,5 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi akhir COD terbesar yaitu sebesar 593,3 mg/l.

Untuk mengetahui persentase penurunan konsentrasi akhir COD setiap variasi kerapatan tanaman dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

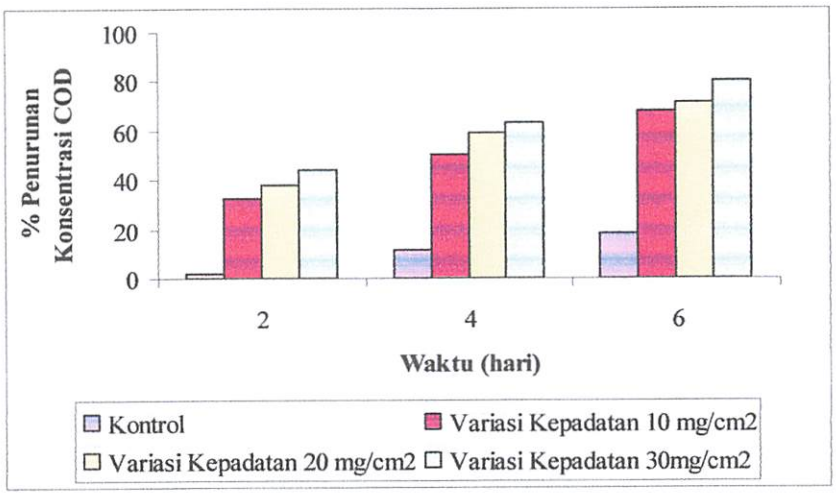
$$\%R = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} x100\%$$

Perhitungan persentase penurunan konsentrasi COD dapat dilihat pada Tabel 4.11 yang diplotkan pada Gambar 4.5 :

Tabel 4.11 Nilai Persentase Penurunan COD

Hari Ke-	Variasi Kerapatan (mg/cm^2)	% Penurunan Konsentrasi COD
2	Kontrol	2,2
	10	32,6
	20	38,4
	30	44,1
4	Kontrol	11,4
	10	50,6
	20	59,5
	30	63,2
6	Kontrol	18,4
	10	67,9
	20	74,2
	30	80,4

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.7 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi COD

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Gambar 4.7 didapatkan persentase penurunan konsentrasi COD, yaitu pada hari ke-2 dengan variasi kerapatan tanaman 10 mg/cm^2, mampu menurunkan konsentrasi COD sebesar 32,6% sedangkan pada variasi kerapatan tanaman 20 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan COD sebesar 38,4% dan pada variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan COD sebesar 44,1%. Sedangkan pada hari ke-4 sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi COD. Penurunan konsentrasi COD tertinggi terjadi pada hari ke-6 dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 sebesar 80,4% .

4.5.2. Analisis ANOVA

4.5.2.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kepadatan tanaman terhadap persentase penurunan COD maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.12 :

Tabel 4.12 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD

One-way ANOVA: Penurunan COD, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	38463	19231	187.12	0.000
Error	78	8016	103		
Total	80	46479			

S = 10.14 R-Sq = 82.75% R-Sq(adj) = 82.31%

Hipotesis hasil uji ANOVA :

- H_0 = Semua perlakuan adalah tidak berbeda nyata/identik.
- H_1 = Semua perlakuan adalah berbeda nyata/identik.

Dasar pengambilan keputusan :

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel

- 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 out put adalah 187,12 jika dilihat $F_{(0,05;2,78)}$ hitung pada tabel 3,11 adalah dengan α toleransi 5% atau 0,05. Karena F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesa awal (H_0) dan menerima hipotesa alternatif (H_1). Atau ke-3 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik/ berbeda nyata .

Selain menggunakan uji F, dapat pula menggunakan uji P. Pada tabel 4.12 Diperoleh nilai koefisien P sebesar 0,000 ini berarti keputusanya menolak hipotesis awal karena nilai P kurang dari α (tingkat signifikasi) toleransi 0,05. Berarti ke tiga perlakuan memiliki rata-rata persentasi penurunan yang tidak sama/ berbeda nyata.

4.5.2.2. Analisis Duncan

Hasil Analisis ANOVA, peneliti dapat menarik kesimpulan apakah suatu perlakuan berpengaruh nyata atau tidak terhadap respon yang diamati, tetapi tidak dapat menentukan perlakuan mana yang berpengaruh nyata. Oleh karena itu, uji

lanjut dilakukan setelah ANOVA adalah dengan melakukan uji Duncan, untuk mengetahui perlakuan mana yang signifikan/ berpengaruh nyata/ berbeda nyata.

Tabel 4.13 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan COD

Duncan[a]

UJI	N	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_{10} T_2	3	32.6								
K_{20} T_2	3		38.4							
K_{30} T_2	3			44.1						
K_{10} T_4	3				50.6					
K_{20} T_4	3					56.5				
K_{30} T_4	3						63.2			
K_{10} T_6	3							67.9		
K_{20} T_6	3								71.0	
K_{30} T_6	3									80.4
Sig		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Hasil uji Duncan pada Tabel 4.13 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada % Removal konsentrasi COD. Untuk % Removal terendah terlihat pada perlakuan $K_{10}T_2$ (kerapatan tanaman 10 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 2 hari) sebesar 32,60 % sedangkan untuk % Removal tertinggi terlihat pada perlakuan $K_{30}T_6$ (kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 6 hari) sebesar 80,40 %. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin padat tanaman dan semakin lama waktu pengambilan sampel maka proses penyerapan kandungan konsentrasi BOD akan semakin tinggi.

4.5.3. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi COD dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 : Tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

- H_1 : Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas:

- Jika Probabilitas ≥ 0,05, maka Ho diterima.
- Jika Probabilitas < 0,05, maka Ho ditolak.

Tabel 4.14 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan COD

Item		Uji Korelasi		Keputusan	Kesimpulan
		Korelasi	P-Value		
Persentase Penurunan BOD	Kerapatan Tanaman	0.330	0.093	Terima H_0	Tidak adanya hubungan yang signifikan antara jenis tanaman dengan presentase penurunan konsentrasi COD
	Waktu pengambilan sampel	0.942	0.000	Tolak H_0	Ada hubungan yang signifikan antara waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi COD

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi COD tidak berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan kerapatan tanaman. Namun persentase penurunan konsentrasi tembaga COD berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan variasi kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel.

Karena nilai korelasinya 0,33 (kerapatan tanaman) dan 0,942 (waktu pengambilaan sampel), maka hubungan antara variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi COD adalah positif. Artinya, apabila variasi kerapatan, jenis tanaman dan waktu penelitian meningkat, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan meningkat.

4.5.4. Analisis Regresi

Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel terhadap variabel terikat (konsentrasi COD) digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikasi prediksi dari hubungan/korelasi data. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

Tabel 4.15 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD

Regression Analysis: Penurunan COD versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

The regression equation is
Penurunan COD = 9.10 + 0.610 Variasi Tanaman + 8.70 Waktu (hari)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.1000	0.7059	12.89	0.000
Variasi Tanaman	0.61000	0.02398	25.44	0.000
Waktu (hari)	8.7000	0.1199	72.56	0.000

S = 1.01735 R-Sq = 99.6% R-Sq(adj) = 99.6%

Tabel 4.16 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi COD

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6119.5	3059.7	2956.26	0.000
Residual Error	24	24.8	1.0		
Total	26	6144.3			

1) Persamaan regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada Tabel 4.15 Maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$Y = 9.10 + 0.610\ X_1 + 8.70\ X_2$

Dimana :

Y = Penurunan konsentrasi COD

X_1 = Variasi kerapatan

X_2 = Variasi Waktu

Koefisien regresi sebesar 0.610 untuk variabel X_1 (Kerapatan tanaman) menyatakan bahwa variasi kerapatan tanaman akan meningkatkan persentase penurunan COD sebesar 0.610 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 8.70 untuk variabel X_2 (waktu pengambilan sampel) menyatakan bahwa setiap 2 hari pengambilan sampel akan meningkatkan persentase penurunan COD sebesar 8.70 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2) Uji signifikasi koefisien regresi

Hipotesis :

1. H_0 : koefisien regresi tidak signifikan
2. 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 $T_{(0,025;24)}$ tabel adalah 2,064 Sedangkan nilai T hitung berdasarkan Tabel 4.15 adalah 25,44 (variasi kerapatan tanaman) dan 72,56 (variasi waktu pengambilan sampel). Semua nilai T hitung lebih besar dari T tabel, maka koefisien regresi signifikan.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

a. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima
b. Jika probabilitas < 0,05 H_0 ditolak

Pada Tabel 4.15 Nilai P untuk variasi jenis reaktor adalah 0,000 dan untuk variasi waktu pengambilan sampel adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh dibawah 0,05. Dengan demikian H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan atau variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar COD.

3) Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R-square sebesar 99.6% hal ini berarti 99.6% penurunan konsentrasi COD dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel. Sedangkan sisanya 0.4% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4) Uji Kelinearan

Hipotesis :

- H_0 : Y tidak memiliki hubungan linier dengan X
- H_1 : Y memiliki hubungan linier dengan X

Dimana : Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a) Berdasarkan nilai F

Penarikan Kesimpulan :

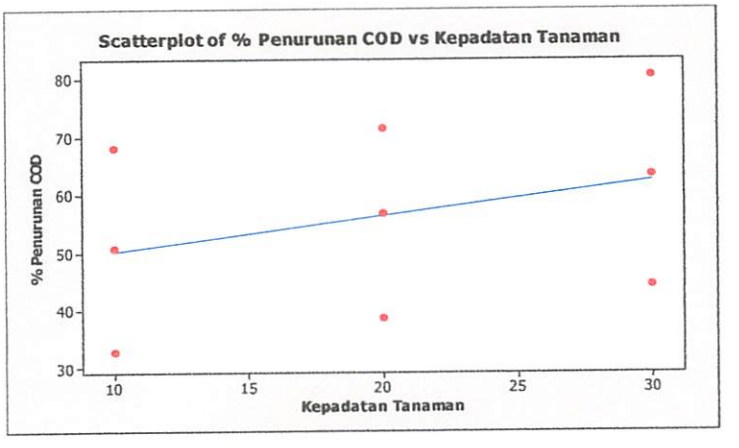
- Jika F hitung > F tabel, H_1 diterima.
- Jika F hitung > F tabel, H_1 ditolak.

Dari uji kelinieran pada Tabel 4.16 didapat nilai F hitung sebesar 2956,26 Sedangkan nilai $F_{(0,05;2,24)}$ tabel sebesar 3,40 Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulan adalah Y (variabel terikat) memiliki hubungan linier dengan X (variabel bebas) atau dengan kata lain, penurunan COD dengan jenis reaktor dan waktu pengambilan sampel mempunyai hubungan linier.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

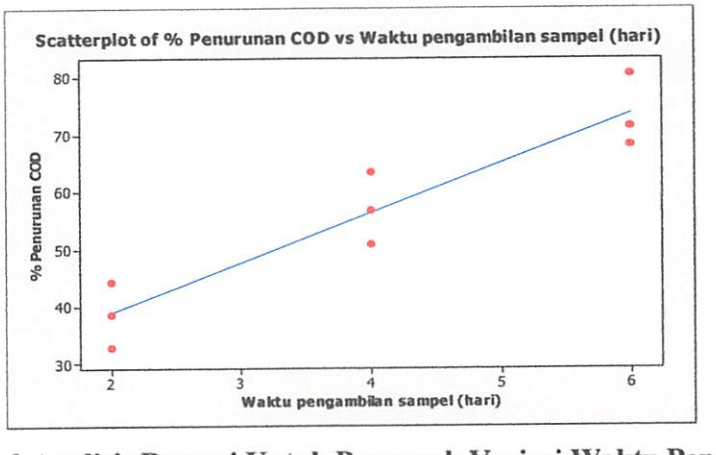
- Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima
- Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak

Pada Tabel 4.16 nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi penurunan kadar COD.



Gambar 4.8 Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi COD

Grafik 4.8 menunjukkan bahwa untuk variasi kerapatan tanaman, semakin tinggi variasi kerapatan tanaman proses presentase penurunan COD akan semakin tinggi, yaitu presentase penurunan terbesar terjadi pada kerapatan 30 mg/cm^2 mampu menurunkan kandungan COD didalam limbah sebesar 80,4%



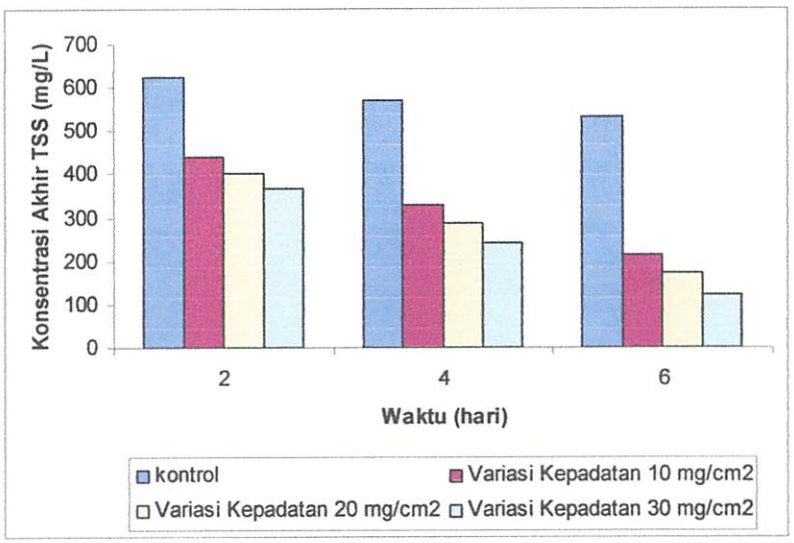
Gambar 4.9 Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi COD

Grafik 4.9 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengambilan sampel maka persentase penurunan COD akan semakin besar, yaitu persentase penurunan terbesar terjadi pada hari ke-6 COD bisa turun menjadi 80,4%.

4.6. ANALISIS PENURUNAN KONSENTRASI TSS

4.6.1. Analisis Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi TSS pada setiap perlakuan variasi kapadatan tanaman seiring pertambahan waktu. Konsentrasi akhir TSS dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang diplotkan pada Gambar 4.10:



Gambar. 4.10 Grafik Konsentrasi Akhir TSS

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi TSS seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini membuktikan bahwa tanaman *Azolla pinnata* mampu menyerap TSS dengan sempurna.

Penurunan BOD, pada reaktor yang ditanami *Azolla* selalu lebih besar dari pada tidak ditanami *Azolla* (kontrol). Hal ini terjadi karena pada reaktor yang ditanami *Azolla* terjadi penyerapan bahan-bahan organik maupun unsur-unsur hara (ion-ion hasil penguraian) oleh *Azolla*, sehingga proses penguraian bahan organik semakin terpacu. Sedangkan kontrol, penyerapan hasil penguraian mikroorganisme dilakukan oleh ganggang, kurang efektif jika dibandingkan dengan *Azolla* karena keberadaan gangga dalam air limbah merupakan bentuk

pencemaran sekunder. Ganggang yang ada sulit dipisahkan dari air limbah sehingga konsentrasi bahan organik dalam limbah relatif tidak berkurang.

Pada hari ke-2 penurunan konsentrasi TSS sudah terjadi, untuk tanaman *Azolla pinnata* dengan variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi sebesar 438,3 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 402,7 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 sebesar 368,7 mg/l Begitu juga pada hari ke-4, sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi TSS pada semua variasi kerapatan tanaman. Pada saat hari ke-6 terjadi penurunan konsentrasi TSS yang terbesar untuk semua variasi kerapatan tanaman, yaitu pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi sebesar 213,8 mg/l, pada variasi kerapatan 20 mg/cm^2 sebesar 173,4 mg/l, dan pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2 terjadi penurunan konsentrasi TSS terbesar yaitu sebesar 123,2 mg/l.

Untuk mengetahui persentase penurunan konsentrasi TSS setiap variasi kerapatan tanaman dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

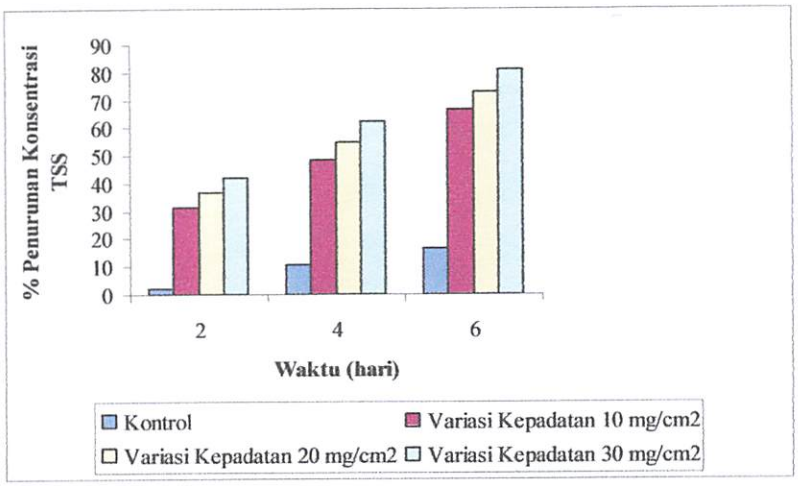
$$\%R = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} x100\%$$

Perhitungan persentase penurunan konsentrasi TSS dapat dilihat pada Tabel 4.17 yang diplotkan pada Gambar 4.7 :

Tabel 4.17 Nilai Persentase Penurunan TSS

Hari Ke-	Variasi Kerapatan (mg/cm^2)	% Penurunan Konsentrasi TSS
2	Kontrol	2.1
	10	31,3
	20	36,9
	30	42,2
4	Kontrol	10,5
	10	48,7
	20	55,1
	30	62,4
6	Kontrol	16,5
	10	66,5
	20	72,8
	30	80,7

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.11 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi TSS

Berdasarkan Tabel 4.17 dan Gambar 4.11 didapatkan persentase penurunan konsentrasi TSS, yaitu pada hari ke-2 dengan variasi kerapatan tanaman 10 mg/cm^2, mampu menurunkan konsentrasi TSS sebesar 31,3% sedangkan pada variasi kerapatan tanaman 20 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan TSS sebesar 36,9% dan pada variasi kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 terjadi persentase penurunan TSS sebesar 42,2%. Sedangkan pada hari ke-4 sampai hari ke-6 tetap terjadi penurunan konsentrasi TSS. Penurunan konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada hari ke-6 dengan kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 sebesar 80,7% .

4.6.2. Analisis ANOVA

4.6.2.1. Analisis ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kepadatan tanaman terhadap persentase penurunan TSS maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18 :

Tabel 4.18 Hasil Uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS

One-way ANOVA: Penurunan TSS, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	37014	18507	167.02	0.000
Error	78	8643	111		
Total	80	45656			

S = 10.53 R-Sq = 81.07% R-Sq(adj) = 80.58%

Hipotesis hasil uji ANOVA :

- H_0 = Semua perlakuan adalah tidak berbeda nyata/identik.
- H_1 = Semua perlakuan adalah berbeda nyata/identik.

Dasar pengambilan keputusan :

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel

- 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* adalah 167,02 jika dilihat $F_{(0,05;;2,78)}$ hitung pada tabel 3,11 adalah dengan α toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesa awal (H_0) dan menerima hipotesa alternative H_1. Atau ke-3 perlakuan memiliki rata-rata persentase adalah tidak identik/berbeda nyata.

Selain menggunakan uji F, dapat pula menggunakan uji P. Pada Tabel 4.18 Diperoleh nilai koefisien P sebesar 0,000 ini berarti keputusanya menolak hipotesis awal karena nilai P kurang dari α (tingkat signifikasi) toleransi 0,005 berarti ke tiga perlakuan memiliki rata-rata persentasi penurunan yang tidak sama / berbeda nyata.

4.6.2.2. Analisis Duncan

Hasil Analisis ANOVA, peneliti dapat menarik kesimpulan apakah suatu perlakuan berpengaruh nyata atau tidak terhadap respon yang diamati, tetapi tidak dapat menentukan perlakuan mana yang berpengaruh nyata. Oleh karena itu, uji

lanjut dilakukan setelah ANOVA adalah dengan melakukan uji Duncan, untuk mengetahui perlakuan mana yang signifikan/berpengaruh nyata/berbeda nyata.

Tabel 4.19 Hasil Uji Duncan Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Dan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Persentase Penurunan TSS

Duncan[a]

UJI	N	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{10}T_2$	3	31.3								
$K_{20}T_2$	3		36.9							
$K_{30}T_2$	3			42.2						
$K_{10}T_4$	3				48.7					
$K_{20}T_4$	3					55.1				
$K_{30}T_4$	3						62.4			
$K_{10}T_6$	3							66.5		
$K_{20}T_6$	3								72.8	
$K_{30}T_6$	3									80.7
Sig		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Hasil uji Duncan pada Tabel 4.19 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada % Removal konsentrasi TSS. Untuk % Removal terendah terlihat pada perlakuan $K_{10}T_2$ (kerapatan tanaman 10 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 2 hari) sebesar 31,3 % sedangkan untuk % Removal tertinggi terlihat pada perlakuan $K_{30}T_6$ (kerapatan tanaman 30 mg/cm^2 dengan lama waktu pengambilan sampel selama 6 hari) sebesar 80,70 %. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin padat tanaman dan semakin lama waktu pengambilan sampel maka proses penyerapan kandungan konsentrasi TSS akan semakin tinggi.

4.6.3. Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi TSS dapat digunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.20 .

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 : Tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

- H_1 : Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas:

- Jika Probabilitas ≥ 0,05, maka Ho diterima.
- Jika Probabilitas < 0,05, maka Ho ditolak.

Tabel 4.20 Korelasi Antara Variasi Kerapatan dan Waktu Pengambilan Sampel Dengan Persentase Penurunan TSS

Item		Uji Korelasi		Keputusan	Kesimpulan
		Korelasi	P-Value		
Penurunan BOD	Kerapatan Tanaman	0.333	0.089	Terima	Tidak adanya hubungan yang signifikan antara jenis tanaman dengan presentase penurunan konsentrasi TSS
	Waktu pengambilan sampel	0.942	0.000	Tolak	Ada hubungan yang signifikan antara waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi TSS

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.20 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi TSS hanya tidak berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan kerapatan tanaman. Namun persentase penurunan konsentrasi tembaga TSS berhubungan erat secara signifikan (besar) variasi kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel.

Karena nilai korelasinya 0,333 (kerapatan tanaman) dan 0,942 (waktu pengambilan sampel), maka hubungan antara variasi kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel dengan persentase penurunan konsentrasi TSS adalah positif. Artinya, apabila variasi kerapatan, jenis tanaman dan waktu penelitian meningkat, maka persentase penurunan konsentrasi TSS akan meningkat.

4.6.4. Analisis Regresi

Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (kerapatan tanaman dan waktu pengambilan sampel) terhadap variabel terikat (konsentrasi TSS) digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikasi prediksi dari hubungan/korelasi data. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22 :

Tabel 4.21 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi TSS

Regression Analysis: Penurunan TSS versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

The regression equation is
Penurunan TSS = 5.71 + 0.647 Variasi Tanaman + 9.13 Waktu (hari)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.7111	0.4883	11.70	0.000
Variasi Tanaman	0.64667	0.01659	38.98	0.000
Waktu (hari)	9.13333	0.08294	110.12	0.000

S = 0.703760 R-Sq = 99.8% R-Sq(adj) = 99.8%

Tabel 4.22 Hasil Uji Kelinieran Analisis Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi TSS

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6758.8	3379.4	6823.24	0.000
Residual Error	24	11.9	0.5		
Total	26	6770.7			

1) Persamaan regresi

Berdasarkan hasil analisis regresi seperti yang tertera pada tabel 4.21 Maka didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

$Y = 5.71 + 0{,}647\ X_1 + 9.13\ X_2$

Dimana :

Y = Penurunan konsentrasi TSS

X_1 = Variasi kerapatan

X_2 = Variasi waktu

Koefisien regresi sebesar 0,647 untuk variabel X_1 (kerapatan tanaman) menyatakan bahwa variasi kerapatan tanaman akan meningkat persentase penurunan TSS sebesar 0,647 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 9,13 Untuk variabel X_2 (variasi waktu pengambilan sampel) menyatakan bahwa setiap penambahan 2 hari waktu pengambilan sampel akan meningkatkan persentase penurunan TSS sebesar 9,13 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2) Uji signifikasi koefisien regresi

Hipotesis :

1. H_0 : koefisien regresi tidak signifikan
2. 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 $T_{(0,025;24)}$ tabel adalah 2,604 Sedangkan nilai T hitung berdasarkan tabel 4.21 adalah 38,98 (variasi kerapatan tanaman) dan 110,12 (variasi waktu pengambilan sampel). Semua nilai T hitung lebih besar dari T tabel, maka koefisien regresi signifikan.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

a. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima
b. Jika probabilitas < 0,05 H_0 ditolak

Pada Tabel 4.21 Nilai P untuk variasi jenis reaktor adalah 0,000 dan untuk variasi waktu pengambilan sampel adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh dibawah 0,05. Dengan demikian H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan atau variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar TSS.

3) Koefisien determinasi

Dari hasil analisis regresi juga didapatkan nilai R-quare sebesar 99.8% ini berarti 99.8% penurunan kadar TSS dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan tanaman dan variasi waktu pengambilan sampel. Sedangkan sisanya 0.2% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4) Uji Kelinearan

Hipotesis :

- H_0 : Y tidak memiliki hubungan linier dengan X
- H_1 : Y memiliki hubungan linier dengan X

Dimana : Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas

Pengambilan keputusan :

a) Berdasarkan nilai F.

Penarikan Kesimpulan :

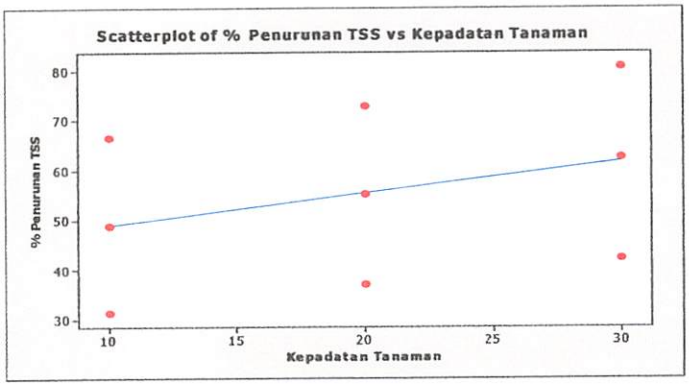
- Jika F hitung > F tabel. H_1 diterima.
- Jika F hitung > F tabel. H_1 ditolak.

Dari uji kelinieran pada Tabel 4.22 didapat nilai F hitung sebesar 6823 Sedangkan nilai $F_{(0,05;2,24)}$ tabel sebesar 3,40 Karena nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka kesimpulan adalah Y (variabel terikat) memiliki hubungan linier dengan X (variabel bebas) atau dengan kata lain, penurunan TSS dengan jenis reaktor dan waktu pengambilan sampel mempunyai hubungan linier.

b) Berdasarkan nilai probabilitas

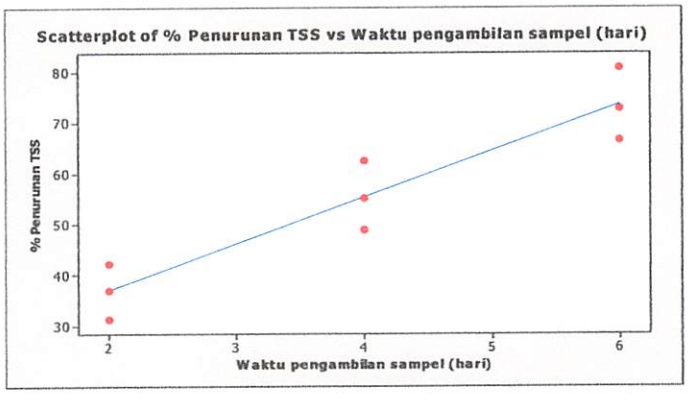
- Jika probabilitas > 0.05, H_0 diterima
- Jika probabilitas < 0.05, H_0 ditolak

Pada Tabel 4.22 nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi penurunan kadar TSS.



Gambar 4.12 Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Kerapatan Tanaman Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi TSS

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa untuk variasi kerapatan tanaman, semakin tinggi variasi kerapatan tanaman proses presentase penurunan TSS akan semakin tinggi, yaitu presentase penurunan terbesar terjadi pada kerapatan 30 mg/cm^2 mampu menurunkan kandungan TSS didalam limbah sebesar 80,7%



Gambar 4.12 Analisis Regresi Untuk Pengaruh Variasi Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Presentase Penurunan Konsentrasi TSS

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengambilan sampel maka persentase penurunan TSS akan semakin besar, yaitu persentase penurunan terbesar terjadi pada hari ke-6, TSS bisa turun menjadi 80,7%.

4.7.PEMBAHASAN

4.7.1 Penurunan Konsentrasi BOD

Dari hasil penelitian dapat dinyatakan, bahwa tumbuhan *Azolla pinnata* dapat menurunkan konsentrasi BOD dari 2043,3 turun menjadi 439,4 mg/L sampai hari terakhir perlakuan. Berdasarkan tabel 4.5 dan gambar 4.3 % Removal terendah terjadi pada hari ke-2 dengan kerapatan 10 mg/cm^2 yaitu sebesar 33,6%, sedangkan persentase tertinggi penurunan konsentrasi BOD pada tumbuhan *Azolla pinnata* terjadi pada hari ke-6 dengan variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 yaitu sebesar 78,5%. Pada hari ke-6 tanaman mulai terlihat jenuh dalam menyerap kandungan bahan organik, hal ini dapat dilihat dari munculnya bercak-bercak hitam pada daun, dan akar tanaman yang mulai rontok. Lamanya waktu detensi mempunyai pengaruh besar dalam persentase penurunan konsentrasi BOD, yaitu semakin lama waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi BOD akan semakin tinggi.

Pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 dan waktu pengambilan sampel selama 2 hari terjadi penurunan konsentrasi BOD akhir terkecil, karena pada kepadatan 10 mg/cm^2 tumbuhan *Azolla pinnata* belum merata pada permukaan air reaktor, jadi tidak semua permukan air terdapat tumbuhan *Azolla pinnata* sehingga proses penyerapan bahan-bahan organik oleh tumbuhan *Azolla pinnata* tidak merata, sedangkan pengaruhnya terhadap waktu pengambilan sampel, penurunan konsentrasi akhir BOD belum bisa optimal karena pada hari ke-2 tumbuhan *Azolla pinnata* masih beradaptasi dengan air limbah di dalam reaktor dan pH di dalam reaktor yang masih bersifat asam yaitu pH 5,22 sehingga peroses pengurain bahan-bahan organik oleh mikroorganisme di dalam reaktor masih belum optimal.

Pada variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 dan variasi waktu pengambilan sampel selama 6 hari terjadi penurunan konsentrasi BOD akhir terbesar. Hal ini terjadi karena pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2, terdapat kerapatan tumbuhan yang terbanyak dibandingkan dengan reaktor lain dan *Azolla pinnata* sudah tumbuh secara merata pada permukaan air reaktor, sehingga kemampuan tumbuhan untuk menyerap konsentrasi BOD akan semakin besar,

dengan catatan bahwa luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan *Azolla pinnata* sehingga tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007). Dan pengaruh waktu terhadap persentase penurunan kandungan BOD adalah semakin lama waktu penelitian maka tumbuhan akan semakin mempunyai banyak waktu untuk menyarapan bahan-bahan organik dan pada hari ke-6 pH air limbah sudah mendekati pH normal yaitu 6,23, pada pH normal mikrooganisme yang terdapat pada akar tumbuhan dapat berkembang dengan baik sehingga dapat mempercepat laju proses penguraian bahan-bahan organik yang akan diserap oleh tumbuhan *Azolla pinnata.*

Terjadinya kenaikan pH pada semua reaktor disebabkan oleh adanya proses fotosintesis *Azolla pinnata*, denitrifikasi dan penguraiaan nitrogen organik oleh bakteri. Dalam proses fotosintesis oleh *Azolla pinnata*, dirubahnya CO_2 menjadi $C_6H_{12}O_6$ memerlukan input energi dan hidrogen. Selama proses denitrifikasi dihasilkan ion OH^- yang menyebabkan kenaikan pH. (Sawyer 1978, dalam Styani 1999).

Yang dapat dilihat pada reaksi – reaksi sebagai berikut :

Fotosintesis :

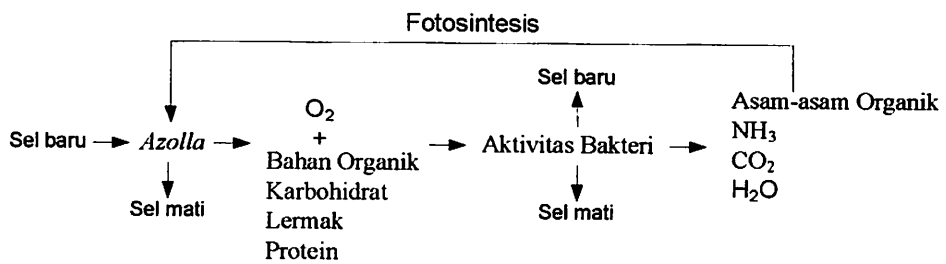
$$5\ C_6H_{12}O_6\,(\text{glukosa}) + 24\ NO_3^- \longrightarrow \text{sel} + 30\ CO_2 + 12\ N_2 + 18\ H_2O + 24\ OH^-$$

Penguraiaan nitrat menjadi nitrit :

$$NO_3^- + \text{organik} \longrightarrow \text{sel} + NO_2^- + CO_2 + H_2O$$
$$NO_2 + \text{organik} \longrightarrow \text{sel} + N_2 + CO_2 + H_2O$$

Reaksi keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut ini :

$$NO_3^- + \text{organik} \longrightarrow \text{sel} + N_2 + CO_2$$



Azolla pinnata mengahasilkan sel baru dan sel mati, *Azolla pinnata* mengeluarkan oksigen dari sistem perakaran hasil dari proses fotosintesis, O_2 digunakan untuk aktivitas bakteri untuk menguraikan bahan - bahan organik, karbohidrat, lemak dan protein. Bakteri menghasilkan sel mati dan bakteri dari aktivitas penguraiaan bahan-bahan organik, lemak, protein dihasilkan asam-asam organik + NH_3 +CO_2 +H_2O digunakan oleh *Azolla pinnata* untuk proses pertumbuhannya dibantu oleh sinar matahari untuk proses fotosintesis.

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 *Azolla pinnata* masih bisa tumbuh hari ke-6 waktu pengambilan sampel, tetapi pertumbuhan tanaman (*Relative Growth*) sudah mulai menurun karena tanaman *Azolla pinnata* yang sudah semakin padat dan tumbuhan tersebut sudah terlihat jenuh menyerap kandungan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah.

Proses penurunan BOD dalam air limbah dibantu oleh mikroorganisme yang dapat tumbuh dan melekat di akar dan batang tumbuhan *Azolla pinnata* (Menurut Janie dan Rahayu, 1999). Mikroorganisme autotrofik, seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* dapat menyelesaikan oksidasi nitrogen secara sempurna. Mikroorganisme tersebut menguraikan bahan-bahan organik menjadi partikel-partikel kecil agar tumbuhan lebih mudah untuk menyerap dan menggunakan bahan-bahan organik tersebut untuk proses pertumbuhannya dibantu dengan sinar matahari untuk proses fotosintesis. Selain itu sistem pertukaran gas dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis pada tumbuhan air yaitu CO_2 cenderung naik keatas daun dan oksigen turun mengalir ke sistem akar tanaman air dalam zona rizospher setelah berdifusi dari atmosfir melalui pori-pori daun. Pelepasan oksigen dari akar tanaman menyebabkan air di sekitar rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang cukup tinggi sehingga memungkinkan organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan yang berkondisi anaerob.

Pada variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel didapat % Removal BOD yang bisa dilihat pada tabel 4.5 ada perbedaan yang signifikan, dari analisis ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel terhadap persentase penurunan BOD terlihat berbeda nyata.karena F hitung *output* adalah 167,81 lebih besar dari F hitung tabel 3,11 sehingga memiliki rata-rata yang tidak identik atau berbeda nyata.

Analisis korelasi berdasarkan tabel 4.8 dapat dikatakan bahwa persentase penurunan BOD dengan variasi kerapatan tumbuhan tidak signifikan karena nilai P-valvenya 0,093 lebih besar dari nilai toleransi 0,05 (α = 5%) dan waktu pengembilan sampel adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,000 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 (α = 5%). Hubungan antara variasi kerapatan dengan persentase penurunan konsentrasi BOD ini searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar variasi kerapatan tumbuhan maka persentase penurunan konsentrasi BOD akan semakin meningkat begitu juga sebaliknya. Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi kerapatan tumbuhan mempengaruhi tingkat efisiensi penurunan konsentrasi BOD pada air limbah.

Dari hasil Analisis regresi dapat diketahui bahwa waktu detensi memberikan pengaruh terhadap kesempatan tumbuhan uji untuk menyerap unsur-unsur kimia dalam air limbah. Semakin banyaknya kerapatan tumbuhan, maka semakin banyak pula unsur-unsur kimia yang terserap. Maka dari itu dengan bertambah lamanya waktu pengambilan sampel dan banyaknya kerapatan tumbuhan, maka persentase penurunan konsentrasi BOD akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

Hasil Analisis regresi menunjukkan hubungan yang erat antara variasi waktu detensi dengan variasi kerapatan tumbuhan, dimana 99,78 % 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 022 % dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang tidak diukur dalam penelitian ini.

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 BOD limbah cair industri tahu yang telah mengalami proses penyerapan oleh tanaman *Azolla pinnata*, yaitu sebesar 439,4 mg/l belum memenuhi standard baku mutu, sedangkan standard baku mutu limbah cair untuk industri tahu yang diperbolehkan adalah 150 mg/l. Sehingga belum aman untuk dibuang ke badan air penerima.

4.7.2. Penurunan Konsentrasi COD

Dari hasil penelitian dapat dinyatakan, bahwa tumbuhan *Azolla pinnata* dapat menurunkan konsentrasi COD dari 2959,8 turun menjadi 593,3,4 mg/L sampai hari terakhir perlakuan. Berdasarkan tabel 4.11 dan gambar 4.7 % Removal terendah terjadi pada hari ke-2 dengan kepadatan 10 mg/cm^2 yaitu sebesar 32,6%, sedangkan persentase tertinggi penurunan konsentrasi COD pada tumbuhan *Azolla pinnata* terjadi pada hari ke-6 dengan variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 yaitu sebesar 80,4%. Pada hari ke-6 tanaman mulai terlihat jenuh dalam menyerap kandungan bahan organik, hal ini dapat dilihat dari munculnya bercak-bercak hitam pada daun, dan akar tanaman yang mulai rontok. Lamanya waktu detensi mempunyai pengaruh besar dalam persentase penurunan konsentrasi COD, yaitu semakin lama waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan semakin tinggi.

Pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 dan waktu pengambilan sampel selama 2 hari terjadi penurunan konsentrasi COD akhir terkecil, karena pada kepadatan 10 mg/cm^2 tumbuhan *Azolla pinnata* belum merata pada permukaan air reaktor, jadi tidak semua permukaai air terdapat tumbuhan *Azolla pinnata* sehingga proses penyerapan bahan-bahan organik oleh tumbuhan *Azolla pinnata* tidak merata, sedangkan pengaruhnya terhadap waktu pengambilan sampel, penurunan konsentrasi akhir COD belum bisa optimal karena pada hari ke-2 tumbuhan *Azolla pinnata* masih beradaptasi dengan air limbah di dalam reaktor dan pH di dalam reaktor yang masih bersifat asam yaitu pH 5,22 sehingga peroses pengurain bahan-bahan organik oleh mikroorganisme di dalam reaktor masih belum optimal.

Pada variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 dan variasi waktu pengambilan sampel selama 6 hari terjadi penurunan konsentrasi BOD akhir terbesar. Hal ini terjadi karena pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2, terdapat kerapatan tumbuhan yang terbanyak dibandingkan dengan reaktor lain dan *Azolla pinnata* sudah tumbuh secara merata pada permukaan air reaktor, sehingga kemampuan tumbuhan untuk menyerap konsentrasi COD akan semakin besar, dengan catatan bahwa luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan *Azolla pinnata* sehingga tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007). Dan pengaruh waktu terhadap persentase penurunan kandungan COD adalah semakin lama waktu penelitian maka tumbuhan akan semakin mempuyai banyak waktu untuk menyerapan bahan-bahan organik dan pada hari ke-6 pH air limbah sudah mendekati pH normal yaitu 6,23, pada pH normal mikrooganisme yang terdapat pada akar tumbuhan dapat berkembang dengan baik sehingga dapat mempercepat laju proses penguraian bahan-bahan organik yang akan diserap oleh tumbuhan *Azolla pinnata*.

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 *Azolla pinnata* masih bisa tumbuh hari ke-6 waktu pengambilan sampel, tetapi pertumbuhan tanaman (*Relative Growth*) sudah mulai menurun karena tanaman *Azolla pinnata* yang sudah semakin padat dan tumbuhan tersebut sudah terlihat jenuh menyerap kandungan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah.

Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Sebagai contoh, selulosa sering tidak terukur dalam uji BOD karena sukar dioksidasi melalui rekasi biokimia, tetapi dapat terukur melalui uji COD, 96% hasil uji COD yang dilakukan selama 10 menit kira-kira hasilnya akan setara dengan uji BOD selama 5 hari (Fardiaz, 2003).

Pada variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel didapat % Removal COD yang bisa dilihat pada tabel 4.11 ada perbedaan yang signifikan, dari analisis ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel terhadap persentase penurunan COD terlihat berbeda nyata.karena F hitung *output* 187,12 lebih besar dari F hitung tabel 3,11 sehingga memiliki rata-rata yang tidak identik atau berbeda nyata.

Analisis korelasi berdasarkan tabel 4.14 dapat dikatakan bahwa persentase penurunan COD dengan variasi kerapatan tumbuhan tidak signifikan karena nilai P-valvenya 0,093 lebih besar dari nilai toleransi 0,05 (α = 5%) dan waktu pengembilan sampel adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,000 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 (α = 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.

Dari hasil Analisis regresi dapat diketahui bahwa waktu detensi memberikan pengaruh terhadap kesempatan tumbuhan uji untuk menyerap unsur-unsur kimia dalam air limbah. Semakin banyaknya kerapatan tumbuhan, maka semakin banyak pula unsur-unsur kimia yang terserap. Maka dari itu dengan bertambah lamanya waktu pengambilan sampel dan banyaknya kerapatan tumbuhan, maka persentase penurunan konsentrasi COD akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

Hasil Analisis regresi menunjukkan hubungan yang erat antara variasi kerapatan tumbuhan dengan variasi waktu pengambilan sampel, dimana 99,6 % 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 0,4 % dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang tidak diukur dalam penelitian ini.

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 tahu yang telah mengalami proses penyerapan oleh tanaman *Azolla pinnata*, yaitu sebesar 593,3 mg/l belum memenuhi standard baku mutu, sedangkan standard baku mutu limbah cair untuk industri tahu yang diperbolehkan adalah 300 mg/l. sehingga belum aman untuk dibuang ke badan air penerima.

4.7.3. Penurunan Konsentrasi TSS

Dari hasil penelitian dapat dinyatakan, bahwa tumbuhan *Azolla pinnata* dapat menurunkan konsentrasi TSS dari 638,2 turun menjadi 123,2 mg/L sampai hari terakhir perlakuan. Berdasarkan tabel 4.17 dan gambar 4.11 % Removal terendah terjadi pada hari ke-2 dengan kepadatan 10 mg/cm^2 yaitu sebesar 30,6%, sedangkan persentase tertinggi penurunan konsentrasi TSS pada tumbuhan *Azolla pinnata* terjadi pada hari ke-6 dengan variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 yaitu sebesar 80,07%. Pada hari ke-6 tanaman mulai terlihat jenuh dalam menyerap kandungan bahan organik, hal ini dapat dilihat dari munculnya bercak-bercak hitam pada daun, dan akar tanaman yang mulai rontok. Lamanya waktu detensi mempunyai pengaruh besar dalam persentase penurunan konsentrasi TSS, yaitu semakin lama waktu detensi, maka persentase penurunan konsentrasi TSS akan semakin tinggi.

Pada variasi kerapatan 10 mg/cm^2 dan waktu pengambilan sampel selama 2 hari terjadi penurunan konsentrasi TSS akhir terkecil, karena pada kepadatan 10 mg/cm^2 tumbuhan *Azolla pinnata* belum merata pada permukaan air reaktor, jadi tidak semua permukaan air terdapat tumbuhan *Azolla pinnata* sehingga proses pengendapan yang dibantu oleh sistem perakaran belum bisa optimal,. Sedangkan pengaruhnya terhadap waktu pengambilan sampel adalah karena pada hari ke-2 tumbuhan *Azolla pinnata* masih beradaptasi dengan air limbah di dalam reaktor dan sistem perakarannya masih belum tumbuh dengan baik karena *Azolla pinnata* masih beradaptasi dengan air limbah dan pada waktu yang singkat pertumbuhan akar tanaman masih sangat kecil dan dalam waktu yang singkat proses

sedimentasi dan penguraian bahan-bahan organik yang terendapkan belum bisa maksimal.

Pada variasi kerapatan tumbuhan 30 mg/cm^2 dan waktu pengambilan sampel selama 6 hari terjadi penurunan konsentrasi TSS terbesar. Hal ini terjadi karena pada variasi kerapatan 30 mg/cm^2, terdapat kerapatan tumbuhan yang terbanyak dibandingkan dengan reaktor lain dan *Azolla pinnata* sudah tumbuh secara merata pada permukaan air reaktor, sehingga kemampuan tumbuhan untuk mengendapkan kandungan TSS yang terdapat dalam air limbah akan semakin besar, dengan catatan bahwa luas permukaan dari reaktor masih mencukupi untuk pertumbuhan *Azolla pinnata* sehingga tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007). Sedangkan pengaruhnya terhadap waktu pengambilan sampel adalah karena pada hari ke-6 tumbuhan *Azolla pinnata* sudah dapat tumbuh dengan baik limbah di dalam reaktor dan sistem perakarannya sudah semakin bertambah banyak dan semakin lamanya waktu penelitiaan maka akan makin banyak kesempantan bahan-bahan organik yang tidak mampu diserap oleh tumbuhan untuk mengedap ke dasar reaktor proses penguraiaan bahan-bahan organik di dasar reaktor oleh aktivitas mikroorganisme akan semakin optimal.

Proses penurunan TSS di dalam air limbah adalah melalui proses penyerapan bahan-bahan organik oleh tanaman *Azolla pinnata* dan proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi. Proses penyerapan bahan organik oleh tumbuhan dapat mengurangi kandungan TSS sedangkan padatan yang tidak dapat diserap dapat dihilangkan dengan proses sedimentasi, proses sedimentasi terjadi dikarenakan air limbah yang melewati jaringan akar sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap. Sedangkan penghilangan dengan filtrasi terjadi karena kemampuan media berporos yang dapat menyerap partikel pada porinya. Partikel koloid diremoval dengan mekanisme pertumbuhan bakteri yang menggunakan bahan organik dari partikel solid yang sudah mengendap. Dengan waktu detensi yang lebih panjang maka padatan mempunyai kesempatan lebih besar untuk mengendap (Wood 1990 dalam dalam Mayangriani, 2005).

Pada variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel didapat % Removal TSS yang bisa dilihat pada tabel 4.17 ada perbedaan yang signifikan, dari analisis ANOVA untuk pengaruh variasi kerapatan dan waktu pengambilan sampel terhadap persentase penurunan TSS terlihat berbeda nyata.karena F hitung *output* 167,02 lebih besar dari F hitung tabel 3,11 sehingga memiliki rata-rata yang tidak identik atau berbeda nyata.

Analisis korelasi berdasarkan tabel 4.8 dapat dikatakan bahwa persentase penurunan TSS dengan variasi kerapatan tumbuhan tidak signifikan karena nilai P-valvenya 0,089 lebih besar dari nilai toleransi 0,05 (α = 5%) dan waktu pengembilan sampel adalah signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yaitu 0,000 lebih kecil dari nilai toleransi 0,05 (α = 5%). Hubungan antara variasi kerapatan dengan persentase penurunan konsentrasi TSS ini searah, hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar variasi kerapatan tumbuhan maka persentase penurunan konsentrasi TSS akan semakin meningkat begitu juga sebaliknya. Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi kerapatan tumbuhan mempengaruhi tingkat efisiensi penurunan konsentrasi TSS pada air limbah.

Dari hasil Analisis regresi dapat diketahui bahwa waktu detensi memberikan pengaruh terhadap kesempatan tumbuhan uji untuk menyerap unsur-unsur kimia dalam air limbah. Semakin banyaknya kerapatan tumbuhan, maka semakin banyak pula unsur-unsur kimia yang terserap. Maka dari itu dengan bertambah lamanya waktu pengambilan sampel dan banyaknya kerapatan tumbuhan, maka persentase penurunan konsentrasi TSS akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

Hasil Analisis regresi menunjukkan hubungan yang erat antara variasi kerapatan tumbuhan dengan variasi waktu pengambilan sampel, dimana 99,8 % 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 0,2 % dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang tidak diukur dalam penelitian ini.

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 TSS limbah cair industri tahu yang telah mengalami proses penyerapan oleh tanaman *Azolla pinnata*, yaitu sebesar 123,2 mg/l belum memenuhi standard baku mutu, sedangkan standard baku mutu limbah cair untuk industri tahu yang diperbolehkan adalah 100 mg/l. Sehingga belum aman untuk dibuang ke badan air penerima.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

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

1. Tumbuhan *Azolla pinnata* mampu menurunkan kandungan BOD sebesar 78,5%, COD sebesar 80,4%, dan TSS sebesar 80,7%.
2. Penurunan kandungan BOD, COD dan TSS tertinggi terjadi pada variasi kerapatan tumbuhan 60 mg/cm^2 dan variasi waktu pengambilan sampel selama 6 hari.

5.2. SARAN

Saran yang dapat diusulkan sehubungan dengan penelitian lebih lanjut adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan *Azolla pinnata* dikombinasikan dengan tumbuhan air lain secara bersama-sama.
2. Perlu dilakukan penelitian variasi tambahan yaitu pengukuran kedalam optimum, sehingga dapat di ketahui pada kedalaman berapa *Azolla pinnata* bisa menyerap kandungan bahan organik secara optimum.
3. Perlu dilakukan pengambilan range variasi kepadatan tanaman yang lebih banyak, sehingga hasil analisa yang didapatkan signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alaerts.G dan Sumesti S. 1987. "***Metode Penelitian Air***" Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.

Anonim, 2003. ***Pengelolaan Limbah Industri Pangan.*** Direktorat Jenderal Industri dan Dagang Kecil Menengah, Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Jakarta

Anonim. ***Pacific Island Ecosystems at Risk (PIER).*** http://www.hear.org/pier/species/azolla_pinnata.htm. diakses tanggal 06 Maret 2007 pada jam 08.30 Am.

Arifin, Z., 1996. ***Azolla Pembudidayaan dan Pemanfaatan pada Tanaman Padi.*** Penebar Swadaya, Jakarta.

APHA, AWWA, Water Environment Feration, 1998. ***Standart Methods for Examination Of Water and Waste Water.*** Eaton, E., Clash, L.S., Greenberg, A., E. 20th, Am. Public Healt Assoc., Washington, DC

Azizah, Cut Nazly. 2003. ***Pengolahan Lindi di Kawasan TPA Keputih Dengan Menggunakan Kiambang (Azolla microphylla),*** Laporan Thesis , Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 2002. K***eputusan Gerbernur Jawa Timur N0.45 th 2002. Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri Atau Kegitan Usaha Lainnya.*** Di Jawa Timur. BAPEDAL Propinsi Jatim. Surabaya

Benefild, L.D dan Randall, C.W 1980. ***Biological Process Design for Wastewater Treatmen.*** Drantice Hall, Inc, USA.

Djojosuwito, Soedijono. 2000. ***Azolla Pertanian Organik dan Multiguna.*** Kanisius, Yogyakarta.

Fardiaz, Srikandi. 2003. ***Polusi Air dan Udara.*** Kanisius. ITB, Bogor.

Hidayat, I. N. 1995. ***Pengaruh Tumbuhan Azolla Terhadap Kualitas Fisik, Kimia, Biologi Air Limbah Domestik.***

Inggriani, Ety 2006. ***Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan Azolla Pinnata Sebagai Biofilter***. Fakultas Teknik Pertaniaan Universitas Brawijaya, Malang.

Iriawan dan Astuti, 2006. ***Mengelolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14.*** Penerbit Andi, Yogyakarta.

Jumpowati, M.D.B., 1994. ***Pengaruh radiasi sinar gama Co – 60 terhadap pertumbuhan Azolla microphylla kauulfuss dan kemampuanya sebagai penjernih air sawah***. Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.

Kurniawan, Hatta AP, 2004. ***Uji Kemampuan Tumbuhan Heliconia Rostrata dan Cyperus Papyrus menurunkan COD dan TSS pada air Limbah KM/WC. Kantin ITS dan Laboratorium Lingkungan Dengan Sistem Rawa Buatan.*** Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.

Mayangriani, Terisia, 2005. ***Studi penurunan kandungan COD dan TSS Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Tanaman (Canna sp) Dalam Sistem SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND***. Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.

Metcalf & Eddy 1991, ***Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse***. Third Edition. McGraw-Hill, Inc, New York.

Raharjo, T. A., 1998 ***Studi Tentang Pengaruh Pemanenan, Kedalaman, Dan Waktu Tinggal Dalam Reaktor Ducweed (Lemna sp.)*** untuk menurunkan COD, N, P. Tugas Akhir.

Sitompul, S.M dan Guritno, B. 1995. ***Analisis Pertumbuhan Tumbuhan*** Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

Slamet, a. 1992. ***Enceng Gondok Sebagai Media Alternatif Untuk Mereduksi Limbah Organik Tinggi***. Lembaga Penelitian ITS, Surabaya.

Soleh, Zanbar Achmat, 2005. Ilmu Statistika : ***Pendekatan Teoritis dan Aplikatif Disertai Contoh Penggunaan SPSS***. Rekayasa sains. Bandung.

Styani, Dyah Umi, (1999) ***Studi Pemanfaatan Azolla Pinnata Untuk Menurunkan COD, N, P pada Air Limbah Tahu***, Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.

Sugiharto. 1987. ***Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah***. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Subrata, Yuda (2007). ***Fitoremediasi Logam Berat CU^{2+} Pada Air Limbah Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Tumbuhan Enceng Gondok (Eichhorniae Crassipes) dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes).*** Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan FTSP ITN, Malang.

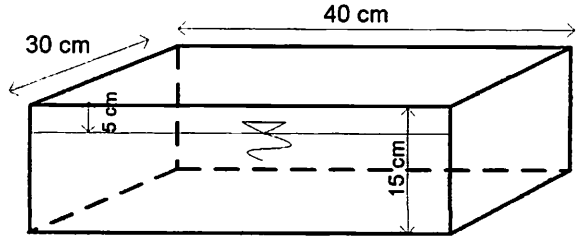
Wardhani. 1997, ***Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu,*** BPPT Departemen Lingkungan Hidup Jakarta.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN

LAMPIRAN
PERHITUNGAN VOLUME REAKTOR
DAN DEBIT RANGKAIAN

A. Volume Reaktor



Bak yang digunakan berbentuk persegi panjang, sehingga rumus volume air limbah didalam reaktor adalah :

V = P x L x T

Dengan :

V = Volume reaktor (cm^3)

P = Panjang (cm)

L = Lebar (cm)

T = Tinggi muka air (cm)

Q = debit limbah

Dik ;

P = 40 cm

L = 30 cm

T = 10 cm

Sehingga :

a) V = 40 cm x 30 cm x 10 cm

= 12.000 cm^3

= 12 L

b) Karena menggunakan 2 reaktor jadi limbah yang di butuhkan 12 L x 2 = 24 L

B. Debit Rangkaian

Digunakan rumus untuk mencari debit :

$$Q = \frac{V}{td}$$

1. Waktu = 2 hari

Volume reaktor (V) = 12 L

Sehingga :

$$Q = \frac{12\ L}{2\ hari}$$

$$Q = 6\ L/hari$$

$$Q = \frac{6000\ ml}{24\ jam}$$

$$= 250\ ml/jam$$

Supaya tanamana tidak mengumpul atau keluar pada saluran *outlet* maka perlu dilakukan:

- Penganturan debit yang kecil supaya tanaman tidak tidak terbawa oleh aliran yang akan menyebapkan tanaman mengumpul pada saluran *outlet* reaktor.
- Dan dipasang jaring kasa pada *outlet* agar tumbuhan tidak terbawa keluar oleh aliran air.

B. Cara Perhitungan Kerapatan Tanaman :

$$RGR = \frac{\ln \text{kepadatan } 1 - \ln \text{kepadatan } 0}{\text{waktu}}$$

Dimana : RGR = *Relative Growth Rate*

Kerapatan 0 = Kerapatan tumbuhan sebelum di tanam pada media limbah tahu (dinyatakan dalam berat basah tanaman). (mg)

Kerapatan 1 = Kerapatan berat basah tumbuhan sesudah di tanam pada media limbah tahu (dinyatakan dalam berat basah tanaman dan waktu n hari). (mg).

n = 2 hari, 4 hari, 6 hari

Dari Analisis pertanaman tanaman *(Relative Growth) Azolla pinnata*, dapat dilihat pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4 Nilai Pertumbuhan Tanaman *(Relative Growth Rate) Azolla Pinnata*

Variasi Kepadatan (mg/cm^2)	Variasi Waktu (hari)	Berat Awal (mg)	Berat Akhir (mg)	Pertanaman (mg/hari)
10	2	0.12	0,21	0,045
20	2	0, 14	0,22	0,040
30	2	0,15	0,24	0,045
10	4	0.12	0,34	0,.055
20	4	0, 14	0,35	0,052
30	4	0,15	0.37	0,055
10	6	0.12	0,46	0,056
20	6	0, 14	0,47	0,055
30	6	0,15	0,48	0,055

A. Hari ke-2

1) $10\ mg/cm^2 = RGR = \frac{0{,}21 - 0{,}12}{2} = 0{,}045\ mg/hari$

2) $20\ mg/cm^2 = RGR = \frac{0{,}22 - 0{,}14}{2} = 0{,}040\ mg/hari$

3) 30 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,24 - 0,15}{2}$ = 0,045 mg/hari

B. Hari ke-4

1) 10 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,34 - 0,12}{4}$ = 0,055 mg/hari

2) 20 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,35 - 0,14}{4}$ = 0,052 mg/hari

3) 30 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,37 - 0,15}{4}$ = 0,055 mg/hari

C. Hari ke-6

1) 10 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,46 - 0,12}{4}$ = 0,055 mg/hari

2) 20 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,47 - 0,14}{4}$ = 0,052 mg/hari

3) 30 mg/cm^2 = RGR = $\frac{0,48 - 0,15}{4}$ = 0,055 mg/hari

LAMPIRAN B

DATA HASIL PENELITIAN

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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 370 S/LKA MLG/ XI /07

Kode Contoh Uji : Ext. 128/PC/XI/2007/148
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 13 – 15 Nov 2007
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
Air Limbah Tahu Malang					
1	BOD	mg/L	2 043,3	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	3 026,4	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	638,2	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
4	pH	-	5,22	QI/LKA/08(Elektrometri)	-

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

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

s 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 stammped byWater 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176 S/LKA MLG/VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 119-128/PC/VI/2008/148 -157
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 28 Juni – 05 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
Air Limbah Tahu Malang					
a. *Azolla Pinnata* 0 mg/cm² hari ke 2 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	2 004,5	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 959,8	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	624,6	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
b. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 2 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	1 426,2	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 038,8	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	434,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
c. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 2 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	1 425,3	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 037,2	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	442,1	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
d. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 2 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	1 427,1	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 042,7	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	438,3	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
e. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 2 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	1 295,4	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 866,1	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	401,7	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

tau 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

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

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 stammped 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176 S/LKA MLG /VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 119-128/PC/VI/2008/148 -157
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 28 Juni - 05 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
f. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm^2 hari ke 2 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	1 298,6	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 862,3	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	403,8	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
g. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm^2 hari ke 2 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	1 295,3	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 864,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	402,6	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
h. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm^2 hari ke 2 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	1 194,3	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 692,8	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	368,7	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
i. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm^2 hari ke 2 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	1 197	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 691,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	365,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
j. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm^2 hari ke 2 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	1 197,4	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 690,4	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	371,9	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

PERUSAHAAN UMUM LABORATORIUM KUALITAS AIR JASA TIRTA I

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

s 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 stammped byWater 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176-1 S /LKA MLG /VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 172-181/PC/VI/2008/214-223
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 02 - 07 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
Air Limbah Tahu Malang					
a. *Azolla Pinnata* 0 mg/cm² hari ke 4					
1	BOD	mg/L	1 849,2	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 681,4	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	571,0	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
b. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 4 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	1 055,4	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 493,1	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	328,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
c. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 4 (sampel (II)					
1	BOD	mg/L	1 056,6	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 497,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	327,5	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
d. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 4 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	1 057,2	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 495,3	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	326,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
e. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 4 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	936,8	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 318,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	282,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

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

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

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 stammped byWater 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176-1 S/LKA MLG /VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 172-181/PC/VI/2008/214-223
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 02 - 07 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
f. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 4 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	935,4	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 316,6	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	290,2	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
g. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 4 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	934,9	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 314,1	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	286,6	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
h. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 4 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	789,7	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 111,7	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	239,9	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
i. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 4 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	787,9	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 113,2	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	235,5	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
j. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 4 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	788,5	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	1 114,4	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	243,7	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

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

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

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 stammped byWater 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176-2 S /LKA MLG /VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 269-278/PC/VII/2008/331-340
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 08 - 13 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
Air Limbah Tahu Malang					
a. *Azolla Pinnata* 0 mg/cm² hari ke 6					
1	BOD	mg/L	1 736,8	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	2 469,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	532,7	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
b. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 6 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	698,9	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	972,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	213,8	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
c. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 6 (sampel (II)					
1	BOD	mg/L	697,6	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	970,2	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	210,9	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
d. *Azolla Pinnata* 10 mg/cm² hari ke 6 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	699,8	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	971,3	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	216,6	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
e. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 6 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	609	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	871,6	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	174,4	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

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

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 stammped 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@jasatirta 1.go.id

KAN
Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 176-2 S/LKA MLG /VII/08

Kode Contoh Uji : Ext. 269-278/PC/VII/2008/331-340
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 08 - 13 Juli 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
f. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 6 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	611,5	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	872,4	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	173,6	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
g. *Azolla Pinnata* 20 mg/cm² hari ke 6 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	610,2	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	870,6	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	172,1	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
h. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 6 (sampel I)					
1	BOD	mg/L	438,3	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	590,2	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	124,2	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
i. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 6 (sampel II)					
1	BOD	mg/L	440,7	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	596,5	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	124,1	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-
j. *Azolla Pinnata* 30 mg/cm² hari ke 6 (sampel III)					
1	BOD	mg/L	439,2	APHA. Ed. 20. 5210B, 1998	-
2	COD	mg/L	593,1	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	-
3	TSS	mg/L	121,3	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	-

PERUSAHAAN UMUM JASA TIRTA I LABORATORIUM KUALITAS AIR

tau 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

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

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 stammped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation

Nilai Konsentrasi Akhir BOD
Dengan Menggunakan Media Tanaman *Azolla Pinnata*

Hari ke	Variasi Kepadatan Tanaman	BOD Awal (mg/L)	Penurunan Konsentrasi Akhir BOD (mg/L)	Rata-rata Penurunan Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan Konsentrasi
2.	Kontrol	2043,3	2004,5	2004.5	1,9
	10	2043,3	1426,2	1426,2	30,2
			1425,3		
			1427,1		
	20	2043,3	1295,4	1295,4	36,6
			1298,6		
			1295,3		
	30	2043,3	1194,3	1195,2	41,5
			1197,0		
			1197,4		
4	Kontrol	2043,3	1849,2	1849,2	9.5
	10	2043,3	1055,4	1056,4	48,3
			1056,6		
			1057,2		
	20	2043,3	936,8	935,5	54,2
			935,4		
			934,9		
	30	2043,3	789,7	788,7	61,4
			787,9		
			788,5		
6	Kontrol	2043,3	1736,8	1736,8	15,2
	10	2043,3	698,9	698,7	65,8
			697,6		
			699,8		
	20	2043,3	609,0	610,2	70,1
			611,5		
			610,2		
	30	2043,3	438,3	439,4	78,5
			440,7		
			439,2		

Nilai Konsentrasi Akhir COD
Dengan Menggunakan Media Tanaman *Azolla Pinnata*

Hari ke	Variasi Kepadatan Tanaman	COD Awal (mg/L)	Penurunan Konsentrasi Akhir COD (mg/L)	Rata-rata Penurunan Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan Konsentrasi
2.	Kontrol	3026,4	2959,8	2959,8	2,2
	10	3026,4	2038,8	2039,6	32,6
			2037,2		
			2042,7		
	20	3026,4	1866,1	1864,3	38,4
			1862,3		
			1864,5		
	30	3026,4	1692,8	1691,6	44,1
			1691,5		
			1690,4		
4	Kontrol	3026,4	2681,4	2681,4	11,4
	10	3026,4	1493,1	1495,3	50,6
			1497,5		
			1495,3		
	20	3026,4	1318,5	1316,4	56,5
			1316,6		
			1314,1		
	30	3026,4	1111,7	1113,4	63,2
			1113,2		
			1114,4		
6	Kontrol	3026,4	2469,5	2469,5	18,4
	10	3026,4	972,5	971,3	67,9
			970,2		
			971,3		
	20	3026,4	871,6	871,5	71,2
			872,4		
			870,6		
	30	3026,4	590,2	593,3	80,4
			596,5		
			593,1		

Nilai Konsentrasi Akhir TSS
Dengan Menggunakan Media Tanaman *Azolla Pinnata*

Hari ke	Variasi Kepadatan Tanaman	TSS Awal (mg/L)	Penurunan Konsentrasi Akhir TSS (mg/L)	Rata-rata Penurunan Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan Konsentrasi
2.	Kontrol	638,2	624,6	624,6	2,1
	10	638,2	434,4	438,3	31,3
			442,1		
			438,3		
	20	638,2	401,7	402,7	36,9
			403,8		
			402,6		
	30	638,2	368,7	368,7	42,2
			365,4		
			371,9		
4.	Kontrol	638,2	571,0	571,0	10,5
	10	638,2	328,4	327,4	48,7
			327,5		
			326,4		
	20	638,2	282,4	286,4	55,1
			290,2		
			286,6		
	30	638,2	239,9	239,7	62,4
			235,5		
			243,7		
6.	Kontrol	638,2	532,7	532,7	16,5
	10	638,2	213,8	213,8	66,5
			210,9		
			216,6		
	20	638,2	174,4	173,4	72,8
			173,6		
			172,1		
	30	638,2	124,2	123,2	80,7
			124,1		
			121,3		

Data Penelitian Untuk Analisa pH Dan Suhu

Analisa pH dan Suhu			
Hari ke	**Variasi Kerapatan (mg/cm^2)**	**pH**	**Suhu**
2	10	5,22	23
	20	5,31	23
	30	5,38	23
4	10	5,68	24
	20	5.85	25
	30	6,12	24
6	10	6,19	24
	20	6,28	25
	30	6,32	25

BAKU MUTU LIMBAH CAIR UNTUK INDUSTRI TAHU DAN KECAP / TEMPE	
Volume Limbah Cair Maksimum per satuan Bahan Baku Tahu 20 m^3/ton Kedelai Kecap / Tempe 10 m^3/ton Kedelai	
Parameter	Kadar Maximum (mg/l)
BOD_5	150
COD	300
TSS	100
pH	6-9

(Sumber : Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Propinsi Jawa Timur, 2002).

Lampiran VIII

BAKU MUTU LIMBAH CAIR (TERMASUK PENGOLAH LIMBAH TERPUSAT/KAWASAN INDUSTRI)						
No	Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Cair			
			I	II	III	IV
A	FISIKA					
1	Temperatur	^0C	35	38	40	45
2	Zat Padat terlarut	mg/L	1500	2000	4000	5000
3	Zat Padat tersuspensi	mg/L	100	200	200	500
B	KIMIA					
1	PH		6-9	6-9	6-9	6-9
2	Besi (Fe)	mg/L	5	10	15	20
3	Mangan (Mn)	mg/L	0,5	2	5	10
4	Barium (Ba)	mg/L	1	2	3	5
5	Tembaga (Cu)	mg/L	1	2	3	5
6	Seng (Zn)	mg/L	5	10	15	20
7	Krom Heksavalen (Cr^{+6})	mg/L	0,05	0,1	0,5	2
8	Krom Total (Cr tot)	mg/L	0,1	0,5	1	2
9	Cadmium (Cd)	mg/L	0,01	0,05	0,1	1
10	Raksa (Hg)	mg/L	0,001	0,002	0,005	0,01
11	Timbal (Pb)	mg/L	0,1	0,5	1	3
12	Timah Putih (Sn)	mg/L	2	3	4	5
13	Arsen (As)	mg/L	0,05	0,1	0,5	1
14	Selenium (Se)	mg/L	0,01	0,05	0,5	1
15	Nikel (Al)	mg/L	0,1	0,2	0,5	1
16	Kobalt (Co)	mg/L	0,2	0,4	0,6	1
17	Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,1	0,5	1
18	Sulfida (H_2S)	mg/L	0.01	0,06	0,1	1
19	Fluorida (F)	mg/L	1,5	15	20	30
20	Klorin Bebas (Cl_2)	mg/L	0,02	0,03	0,04	0,05
21	Amoniak Bebas (NH_3-N)	mg/L	0,5	1	5	20
22	Nitrat (NO_3-N)	mg/L	10	20	30	50
23	Nitrit (NO_2-N)	mg/L	0,06	1	3	5
24	BOD_5	mg/L	30	50	150	300
25	COD	mg/L	80	100	300	600
26	Detergent an ionik	mg/L	0,5	1	10	15
27	Phenol	mg/L	0,01	0,05	1,2	
28	Minyak dan Lemak	mg/L	1	5	15	20
29	PCB	mg/L	NIHIL	NIHIL	NIHIL	NIHIL

(Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Propinsi Jawa Timur, 2002 Lampiran II)

Keterangan

Golongan Baku Mutu:

- Golongan I = Sumber air baku pengolahan air minum
- Golongan II = untuk perikanan dan peternakan
- Golongan III = untuk pertanian, PLTA
- Golongan IV = tidak untuk kesemua kategori di atas

LAMPIRAN

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisa Chemical Oxygen Demand (COD)

Bahan dan Alat :

A. Bahan :

- Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
- Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur denganh Asam Sulfat pekat (H_2SO_4)
- Larutan Merkuri Sulfat ($HgSO_4$)
- Larutan standart Ferro Amonium Sulfat (Feroin)
- Larutan indikator Fenantrolin Sulfat (Feroin)

B. Alat :

- Buret 50 ml 1 buah
- Erlenmeyer COD 2 buah
- Alat refluks dan pemanasnya
- Pipet 10 ml
- Pipet 5 ml
- Beker glass 50 ml 2 buah.

C. Pembuatan bahan/reagen yangt digunakan adalah sebagai berikut :

a. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N

- Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$
- Larutkan dalam labu ukur 1 L dengan aquadest sampai tanda batas

b. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N

- Larutkan 19,6 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 . 6H_2O$ dalam aquadest
- Tambah 4 ml H_2SO_4 pekat
- Encerkan dengan aquadest sampai 1 L

c. **Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)**

- Larutkan 22 gram Ag_2SO_4 dalam 9 lb H_2SO_4 pekat (10 gram Ag_2SO_4 dalam 1 L H_2SO_4 pekat) biarkan hingga 1 malam

d. **Kristal Merkuri Sulfat ($HgSO_4$)**

e. **Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)**

Larutkan 1,485 gram orthopenantrolin dan 0,695 gram $FeSO_4.7H_2O$ dalam 100 ml aquadest.

D. Standarisasi larutan Ferro Ammonium Sulfat 0,05 N :

- Dipipet 2 ml larutan standart $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N
- Diencerkan dengan aquadest sampai volume ± 20 ml
- Tambahkan 8 ml H_2SO_4 pekat dinginkan
- Tambah 3 tetes indikator feroin
- Titrasi dengan Ferro Ammonium Sulfat hingga warna menjadi merah coklat.

$$\text{Normalitas larutan FAS} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \text{ x Normaliti } K_2Cr_2O_7}{\text{ml FAS yang digunakan}}$$

E. Prosedur Analisa :

- Masukkan 0,4 gr kristal $HgSO_4$ kedalam masing-masing erlenmeyer COD
- Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD
- Tambah10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
- Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4dan Hg_2SO_4
- Alirkan air pendingin pada kondensator dan pasang erlenmeyer COD
- Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam
- Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensator sampai volume 150 ml
- Lepaskan erlenmeyer dari kondensator dan tunggu sampai dingin

- Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin
- Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah – cokelat.

Perhitungan

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

Dimana : a = ml FAS titrasi blanko

B = ml FAS titrasi sampel

N = Normalitas larutan FAS

p = Penganceran

2. Analisa Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)

Bahan dan Alat :

a. Bahan :

- larutan Buffer Fosfat
- Larutan Magnesium Sulfat
- Larutan Kalium Klorida
- Larutan Feri Klorida
- Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
- Benih atau inuculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 ml air.
- Larutan Mangan Sulfat
- Larutan pereaksi Oksigen
- Indikator Amiluk 0,5 %
- Asam Sulfat pekat
- Larutan standart Natrium Tiosulfat 0,0125 N

b. Alat

- Drum atau ember untuk air pengenceran
- Botol wingkler 300 ml 2 buah.
- Botol winkler 150 ml 2 buah
- Inkubator dengan suhu 20 ^{0}C
- Labu takar 500 ml 1 buah
- Pipet 100 ml
- Pipet 5 ml
- Gelas ukur 10 ml 1 buah
- Buret 25 ml atau 50 ml
- Erlenmeyer 250 ml 1 buah.

Pembuatan bahan/reagen yang digunakan adalah sebagai berikut :

I. <u>Untuk air Pengencer</u> :

a. Larutan Buffer Fosfat

- KH_2PO_4 sebanyak 1,7 gram
- KH_2PO_4 sebanyak 4,35 gram
- $Na_2HPO_4.2H_2O$ sebanyak 4,4368 gram
- NH_4Cl sebanyak 0,34 gram

Semua bahan diatas dilarutkan dalam 200 ml aquadest

b. Larutan $MgSO_4$

Larutkan 4,5 gram $MgSO_4.7H_2O$ dalam 200 ml aquadest

c. Larutan $CaCl_2$

Larutkan 5,5 gram $CaCl_2$ anhidrous dalam 200 ml aquadest.

d. Larutan $FeCl_3$

Larutkan 0,05 gram $FeCl_3.6H_2O$ dalam 200 ml aquadest.

e. Larutan air

II. **Untuk analisa Oksigen terlarut :**

a. **Larutan Mangan Sulfat ($MnSO_4$)**

Larutkan 80 gr $MnSO_4$ atau 96 gram $MnSO_4.4H_2O$ dalam 200 ml aquadest

b. **Larutan Pereaksi Oksigen**

Larutkan 80 gr NaOH dan 30 gram KI dalam 200 ml air ditambah 4 gram Na N_3.

c. **Larutan Indikator Amilum 0,5 %**

- Larutkan 1 gram amilum dalam sedikit air
- Kemudian ditambah air panas sampai 100 ml
- Ditambahkan pengawet HgI_2 sedikit

d. **Larutan Natrium Thio Sulfat 0,0125 N**

- Larutkan 3,1025 gram $Na_2S_2O_3$ dalam 1 L aquadest yang telah didihkan dan kemudian didinginkan.
- Ditambahkan 0,625 ml $CHCl_3$ atau 0,125 gram NaOH atau 1 cc buffer pH 12

e. **Larutan H_2SO_4 pekat.**

III. **Standarisasi larutan Natrium Tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,0125 N :**

- Dipipet 1 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N
- Diencerkan dengan aquadesr sampai volume ± 50 ml
- Ditambahkan 0,5 gram KI
- Ditambahkan 2,5 mL H_2SO_4 pekat
- Ditambahkan 2,5 mL H_2SO_4 pekat
- Ditambahkan indikator amilum 3 - 4 tetes
- Titrasi dengan nartium Tiosulfat sampai tak berwarna

$$\text{Normaliti } Na_2S_2O_3 = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \text{ x Normaliti } K_2Cr_2O_7}{\text{ml Natrium Tiosulfat yang digunakan}}$$

Prosedur Analisa :

A. Pembuatan air pengencer

Air pengencer ini tergantung dari banyaknya sampel yang akan dianalisa dan pengencerannya. Prosedurnya :

- Tambahkan 1 ml larutan Buffer Fosfat per liter air
- Tambahkan 1 ml larutan Magnesium Sulfat per liter air
- Tambahkan 1 ml larutan Kalium Klorida per liter air
- Tambahkan 1 ml larutan Feri Klorida per liter air
- Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- Aerasi minimal selama 2 jam
- Tambahkan 1 ml larutan benih perliter

B. Prosedur BOD_5

a. Menentukan pengenceran

Untuk menganalisa BOD_5 harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ atau angka COD sebagai berikut :

$$P = \frac{\text{Angka } KMO_4}{3 \text{ atau } 5} \text{ atau } \frac{\text{angka COD}}{3 \text{ atau } 5}$$

b. Prosedur Analisa BOD_5 dengan winkler

- Siapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran. Tambahkan air pengenceran sampai batas labu.
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 ml dan 2 botol winkler 150 ml sampai tumpah.
- Tuangkan air pengenceran ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai belangko tumpah.
- Masukkan kedua botol winkler 300 ml yang berisi air dianalisa oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut :

- ✓ Tambahkan 1 ml larutan mangan Sulfat
- ✓ Tambahkan larutan pereaksi Oksigen.
- ✓ Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
- ✓ Biarkan gumpalan mengendap selama 5 – 10 menit.
- ✓ Tambahkan 1 ml Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan.
- ✓ Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
- ✓ Tambahkan 3 – 4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang.

- ♦ Setelah 5 hari, analisa kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisa oksigen terlarut.

Perhitungan Oksigen terlarut dan BOD_5 :

$$OT\ (mg/L) = \frac{a \times N \times 8000}{\text{volume sampel (ml)}}$$

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

$$P = \frac{\text{ml sampel}}{\text{Volume hasil pengenceran (500ml)}}$$

Dimana : a = ml Natrium Tiosulfat titrasi pada sampel

N = Normalitas larutan Natrium Tiosulfat

X_0 = oksigen terlarut sampel pada t = 5

X_5 = oksigen terlarut sampel pada t = 5

B_0 = oksigen terlarut sampel pada t = 5

B_5 = oksigen terlarut sampel pada t = 5

P = derajat pengenceran

3. Analisa Total Suspended Solid (TSS)

A. Prinsip Analisa

Bila zat padat dalam sampel dipisahkan dengan menggunakan filter kertas atau filter fiber glass (serabut kaca) dan kemudian zat padat yang tertahan pada filter dikeringkan pada suhu ± 105 °C. Maka berat residu sesudah pengeringan adalah zat padat tersuspensi.

B. Alat - Alat

- cawan penguapan, diameter 90 mm, kapasitas 100 ml, terbuat dari porselin atau platina.
- Oven untuk pemanasan 105 °C.
- Desikator.
- Timbangan analitis.
- Fiber kertas biasa atau *fiber glass*.
- Bejana isap (*suction flask*), kapasitas 500 ml atau 1000 ml, serta alat pompa vakum (diperlukan jika perkiraan jumlah TSS sangat banyak).

C. Pengawetan Sampel

Jika harus dilakukan pengawetan, maka volume sampel yang harus disediakan adalah 200 ml dengan cara didinginkan pada suhu ± 4 °C. Waktu pengawetan maksimum yang dianjurkan adalah 7 hari dengan batasan maksimal 14 hari.

D. Prosedur Analisa

1. Cuci cawan dengan air keran kemudian bilas dengan air suling.
2. Panaskan filter kertas + cawan di dalam oven pada suhu ± 105 °C selama 1 jam. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit dan kemudian timbang dengan cepat.

3. Pemanasan biasanya cukup 1 jam. Namun pemanasan perlu diulang samapai didapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
4. Sampel yang sudah dikocok merata, sebanyak 100 ml dipindahkan dengan menggunakan pipet ke dalam alat penyaringan yang sudah ada filter kertasnya.
5. Filter kertas diambil dari alat penyaringan dengan hati-hati dan kemudian ditempatkan pada yang digunakan. Masukan filter kertas + cawan tersebut kedalam oven untuk dipanaskan pada suhu 105 °C selama 1 jam. Dinginkan dalam desikator suhu ruangan dan kemudian timbang dengan cepat.
6. Ulangi pemanasan dan penimbangan sampai beratnya konstan atau berkurangnya berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg. Biasanya pemanasan 1 sampai 2 jam sudah cukup.
7. Agar supaya hasil lebih teliti, harap dibuat duplikat.
8. Formula perhitungan yang digunakan :

$$\text{mg/L Zat Tersuspensi} = \frac{(a - b) \times 1000}{c}$$

Dimana

a = berat filter + cawan + residu (sesudah pemanasan 105 ^{O}C) (mg)

b = berat filter + cawan (sesudah pemanasan 105 ^{O}C) (mg)

c = ml sampel

4. Analisa pH

A. Bahan :

- Larutan pH 7
- Aquadest

B. Peralatan

- pH meter
- Botol semprot aquadest
- Beaker glass

C. Cara kerja

- Batang elektroda disemprot dengan aquadest dan dikeringkan dengan kertas tissue
- Sampel yang akan diukur dikocok terlebih dahulu egar homogen kemudian dituangkan ke dalam beaker glass dan diukur dengan pH meter.

LAMPIRAN C

DATA ANALISIS MINITAB

LAMPIRAN MINITAB 14.

7/23/2008 10:39:35 AM

7/27/2008 9:05:33 AM

Results for: Worksheet 4

One-way ANOVA: Penurunan BOD, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	35309	17654	167.81	0.000
Error	78	8206	105		
Total	80	43515			

S = 10.26 R-Sq = 81.14% R-Sq(adj) = 80.66%

Level	N	Mean	StDev
Penurunan BOD	27	54.07	15.61
Variasi Tanaman	27	20.00	8.32
Waktu (hari)	27	4.00	1.66

```
Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
+---------+---------+---------+---------
                                  (--*--)
            (-*--)
(--*-)
+---------+---------+---------+---------
0         15        30        45
```

Pooled StDev = 10.26

One-way ANOVA: Penurunan COD, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	38463	19231	187.12	0.000
Error	78	8016	103		
Total	80	46479			

S = 10.14 R-Sq = 82.75% R-Sq(adj) = 82.31%

Level	N	Mean	StDev
Penurunan COD	27	56.10	15.37
Variasi Tanaman	27	20.00	8.32
Waktu (hari)	27	4.00	1.66

```
Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
+---------+---------+---------+---------
                                  (-*--)
            (-*--)
(--*-)
+---------+---------+---------+---------
0         15        30        45
```

Pooled StDev = 10.14

One-way ANOVA: Penurunan TSS, Variasi Tanaman, Waktu (hari)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	37014	18507	167.02	0.000
Error	78	8643	111		
Total	80	45656			

S = 10.53 R-Sq = 81.07% R-Sq(adj) = 80.58%

```
                                   Individual 95% CIs For Mean Based on
                                   Pooled StDev
Level              N   Mean  StDev +---------+---------+---------+---------
Penurunan TSS     27  55.18  16.14                                   (--*-)
Variasi Tanaman   27  20.00   8.32            (-*--)
Waktu (hari)      27   4.00   1.66  (--*-)
                                   +---------+---------+---------+---------
                                   0        15        30        45
```

Pooled StDev = 10.53

Correlations: Penurunan BO, Penurunan CO, Penurunan TS, Variasi Tana, ...

	Penurunan BO	Penurunan CO	Penurunan TS	Variasi Tana
Penurunan CO	1.000 0.000			
Penurunan TS	0.999 0.000	0.999 0.000		
Variasi Tana	0.330 0.093	0.330 0.093	0.333 0.089	
Waktu (hari)	0.943 0.000	0.942 0.000	0.942 0.000	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Correlations: Penurunan BOD, Variasi Tanaman

Pearson correlation of Penurunan BOD and Variasi Tanaman = 0.330
P-Value = 0.093

Correlations: Penurunan BOD, Waktu (hari)

Pearson correlation of Penurunan BOD and Waktu (hari) = 0.943
P-Value = 0.000

Correlations: Penurunan COD, Variasi Tanaman

Pearson correlation of Penurunan COD and Variasi Tanaman = 0.330
P-Value = 0.093

Correlations: Penurunan COD, Waktu (hari)

Pearson correlation of Penurunan COD and Waktu (hari) = 0.942
P-Value = 0.000

Correlations: Penurunan TSS, Variasi Tanaman

Pearson correlation of Penurunan TSS and Variasi Tanaman = 0.333
P-Value = 0.089

Correlations: Penurunan TSS, Waktu (hari)

Pearson correlation of Penurunan TSS and Waktu (hari) = 0.942
P-Value = 0.000

Regression Analysis: Penurunan BOD versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

The regression equation is
Penurunan BOD = 6.33 + 0.618 Variasi Tanaman + 8.84 Waktu (hari)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.3333	0.5907	10.72	0.000
Variasi Tanaman	0.61833	0.02006	30.82	0.000
Waktu (hari)	8.8417	0.1003	88.14	0.000

S = 0.851225 R-Sq = 99.7% R-Sq(adj) = 99.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6316.8	3158.4	4358.93	0.000
Residual Error	24	17.4	0.7		
Total	26	6334.2			

Source	DF	Seq SS
Variasi Tanaman	1	688.2
Waktu (hari)	1	5628.6

Unusual Observations

Obs	Variasi Tanaman	Penurunan BOD	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	20.0	70.100	71.750	0.259	-1.650	-2.03R
23	20.0	70.100	71.750	0.259	-1.650	-2.03R
24	20.0	70.100	71.750	0.259	-1.650	-2.03R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Penurunan COD versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

The regression equation is
Penurunan COD = 9.10 + 0.610 Variasi Tanaman + 8.70 Waktu (hari)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.1000	0.7059	12.89	0.000
Variasi Tanaman	0.61000	0.02398	25.44	0.000
Waktu (hari)	8.7000	0.1199	72.56	0.000

S = 1.01735 R-Sq = 99.6% R-Sq(adj) = 99.6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6119.5	3059.7	2956.26	0.000
Residual Error	24	24.8	1.0		
Total	26	6144.3			

Source	DF	Seq SS
Variasi Tanaman	1	669.8
Waktu (hari)	1	5449.7

Unusual Observations

Obs	Variasi Tanaman	Penurunan COD	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	20.0	71.200	73.500	0.310	-2.300	-2.37R
23	20.0	71.200	73.500	0.310	-2.300	-2.37R
24	20.0	71.200	73.500	0.310	-2.300	-2.37R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Penurunan TSS versus Variasi Tanaman, Waktu (hari)

The regression equation is
Penurunan TSS = 5.71 + 0.647 Variasi Tanaman + 9.13 Waktu (hari)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.7111	0.4883	11.70	0.000

Variasi Tanaman	0.64667	0.01659	38.98	0.000
Waktu (hari)	9.13333	0.08294	110.12	0.000

S = 0.703760 R-Sq = 99.8% R-Sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6758.8	3379.4	6823.24	0.000
Residual Error	24	11.9	0.5		
Total	26	6770.7			

Source	DF	Seq SS
Variasi Tanaman	1	752.7
Waktu (hari)	1	6006.1

LAMPIRAN

TABEL T DAN TABEL F

TABEL T

df	α = 0,05	α = 0,025	df	α = 0,05	α = 0,025
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 (α = 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	2.69	2.45	2.30
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29
115	3.92	3.08	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	2.45	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 D

DOKUMENTASI PENELITIAN

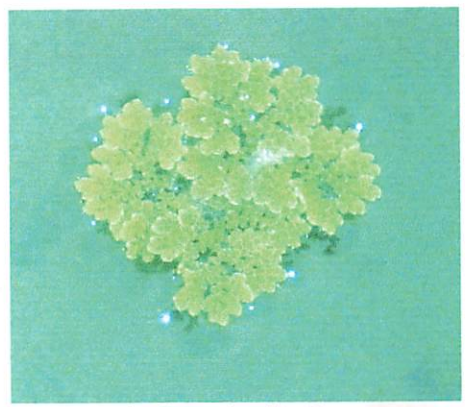
Gambar Reaktor

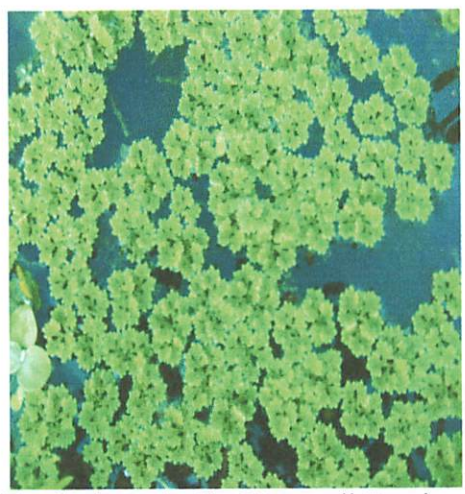
Bak Aklimatisasi

Tumbuhan *Azolla Pinnata* Dalam Reaktor

Reservoir Penampung Limbah Tahu

Timbangan Analitik


Tumbuhan *Azolla Pinnata*


Tumbuhan *Azolla Pinata* di Perairan

Spektrofotometer

pH Meter

Lembar Persembahan

Buat Allah SWT, yang telah mendengar semua doa ku memberi semangat pada setiap hela nafasku. Makasih ya Allah aku yakin dengan semua apa yang telah engkau janjikan, dan semua pengharapanku selama ini salah satunya udah engkau kabulkan....!

My famly

Aku mau ngucapin makasih banget buat papi ku yang ada di "Surga"...!
"Papi akhinya Rofie wisuda juga..." tapi sayang papi engak bisa ngeliat rofie wisuda.
Buat mami...!
Wanita yang paling aq sayangi, thanks banget ya mi buat doa, support maupun materi yang telah mami berikan ke Rofie....
Sorry kalau Rofie sering jadi anak yang bandel...

Buat my sister Nina and mas Hery di Jakarta..., nanti kalau Rofie udah wisuda rofie nginap di sana ya...
Buat adeku tersayang Ojix, semangat ya jik, dhank yakin kamu bisa jadi orang success...
Buat Bunda and om Manu... tempat persinggahan mudik dari Jakarta ke Bengkulu....!
makasih ya Bunda buat semuanya, termasuk nasehat-nasehatnya...
Buat semua keponakanku adi, fegi, beril, wah kalian semua ternyata sekarang udah gede semua, jangan nakal ya...!

TL" 02

Buat teman-teman seperjuanganku tercinta
Chia, aduh tante aku kangen banget sama kamu nanti....!
Sedih banget..., thank ya tante udah ngedengarin semua cerita sedihku.., udah mensupport aku selama aku skripsi, tante udah ku anggap mama k-2 Q deh pokonya...!
Makasih ya tante udah mau berfoto sexsy dengan aku he...3x

Buat Junary,,,! "tuhkan jun, kamu bisa wisuda juga khan...."
Teguh, "aduh guh makasih bangetssssSSS ya kamu udah membantu aku dalam semua hal deh pokonya".
Agung..... "ya gituh deh, makasih ya, udah sering main ke kostku dan ngacak-ngacak kamarku" he...3x
Reny..... " makasih ya buren, udah menjadi tempat aku bertanya-tanya ,
Think,.... "Ya ampun thik teganya dirimu meninggalkan ghank tomazzzZZ, salut buat kamu yang udah super kilat ngerjain skripsinya",
horreyyyy... "kita akhirnya jadi sarjana juga" walaupun harus berjuang mati-matian selama 6 tahun, dengan keringat, tangisan dan air mata, akhirnya selesai juga....,

Jeng Eny...," jangan sedih ya"... tetap semangat kamu pasti bisa,
Inak.. "ayo2 cepatan bangkit, semangat lagi...!
Titis.. "udah clear khan masalahnya, sekarang ayo lanjutin lagi skripsinya"
Candra.. "cepat sembuh ya, biar bisa berjuang lagi"
Ifan..." jangan takut fan, hadapin saja, aku yakin kamu bisa"
Irvan.. "ayo pak semangat, jangan pacaran mulu"
Timo.. "semangat kak timo, semua ada waktunya"
Bili... "ayo bil jangan sampai ditarik deler, tapi salut sama semangat 45' mu...ayo terus berjuang bentar lagi pasti merdeka..., he..3x
kegagalan jangan membuat kalian jadi down, tapi harus tetap semangat dan bangkit buat menyelasaikan semuanya.,
sorry ya sedikit duluan....!
Buat om Ran, Mail , Baiq, Zombi,Prana, Iwan, Koko, Paul, Zul, Yus, Piping, Lastri, Sepin kalian semua tetap semangat terus berjuang, aku yakin kalian pasti bisa....! yang penting ada niat dan rajin ke kampus.
Buat teman2 seperjuanganku TL 02,, aduh rek,...! akhirnya perpisahan itu datang juga, aku pasti akan merindukan kaliaan semua nantinya, keep contack ya..

TL 01'

Mbak beybeh ku yang cuantik..., "biar udah tua tapi engak kalah ok sama angkatan muda" mbak sorry ya aku duluan, thank buat cerita-cerita dan semangatnya selama ini.
Mbak devi... " jadi ingat disaat kita lagi jombloh dan patah hati bareng" he...3x
Buat mbak Eka... "Ayo mbak bangunnya jangan telat mulu, pak Hery udah datang tuh..."
Evelyn... "thanks, ya mbak udah kasih masukan dan udah bantui cari jawaban skripsiku...."
Nini..." wah ternyata kita bisa wisuda bareng berkat tumbuhan"
Sahid, Dedy, Nesta, Bayu, Erwin, "ternyata kita bisa wisuda bareng"
dan semua anak2 tl 01' sukses ya, buat kalian semua.

Jatim Friend's

Buat teman-temanku di Malang, Ria adekku yang imut, yang selalu memberi nasehat dan doa buat aku, buat mas Vany "yang ada di surga", mas Yayan... "semoga apa yang kamu impikan bisa tercapai" , buat adit, thanks ya dit udah mensupport aq membangkitkan semangatku lagi disaat aku lagi terjatuh, buat mas Raditya makasih buat semangatnya pada saat aku seminar akhir..., buat abak2 kost Sumber sari 286 A, huy sekarang malaikat pencabutnyawa udah wisuda neh....! He..3x, dan buat semuanya aja yang ada di Malang, Surabaya, yang telah menjadi temanku yang baik,....