

SKRIPSI

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN METODE FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TUMBUHAN *DUCKWEED* (*Lemna minor*)

Oleh :

Nur Aini Sanaky

01.26.025

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG



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

5008

НАЦИОНАЛЬНАЯ СЕРВИСНАЯ КОМПАНИЯ
КОММУНАЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО СЕКТОРА
СЛУЖБА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
СЛУЖБА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ



ИЛИ КУРЬЕР
ВЕРЬТЕСЬ В НАС
ИЛИ К

СЛУЖБА
ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ

(Служба техобслуживания)

НАЦИОНАЛЬНАЯ СЕРВИСНАЯ КОМПАНИЯ
КОММУНАЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО СЕКТОРА
СЛУЖБА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

СЛУЖБА

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN METODE
FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TUMBUHAN *DUCKWEED***

(*Lemna minor*)

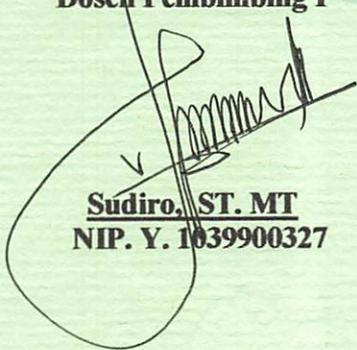
Oleh :

Nur Aini Sanaky

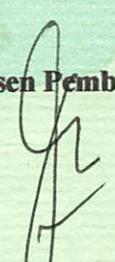
0126025

**Menyetujui
Tim Pembimbing**

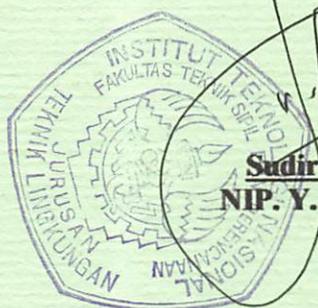
Dosen Pembimbing I

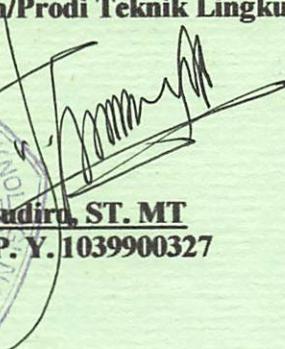

Sudiro, ST. MT
NIP. Y. 1039900327

Dosen Pembimbing II


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

**Mengetahui
Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan**




Sudiro, ST. MT
NIP. Y. 1039900327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN METODE
FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TUMBUHA *DUCKWEED*
(*Lemna minor*)**

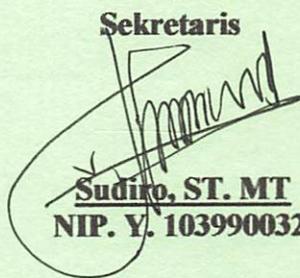
Oleh :
Nur Aini Sanaky
0126025

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S1) pada tanggal 20 September 2008, dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Mengetahui
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

Ketua

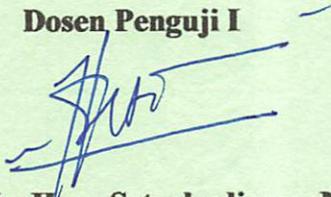

Ir. Agustina Nurul H., MTP
NIP. Y. 103900214

Sekretaris


Sudiro, ST. MT
NIP. Y. 1039900327

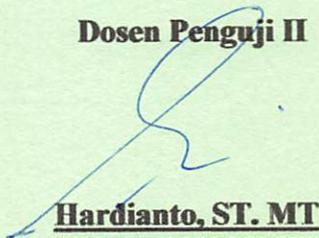
Dewan Penguji

Dosen Penguji I



Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, M.Sc
NIP. 131965844

Dosen Penguji II



Hardianto, ST. MT
NIP. P. 1030000350

Lembar Persembahan

Bismillahirrohmanirrohiim.....

Dengan nama ALLAH yang Maha pengasih, lagi Maha penyayang

Ya ALLAH kini aku berada diwaktu pagi, aku tidak menguasai untuk diriku bahaya, manfaat, hidup, mati, dan hidup sesudah mati. Aku tidak dapat mengambil kecuali apa yang engkau berikan, dan aku tidak dapat menghindari kecuali dari apa yang engkau hindarkan.

Ya ALLAH bimbinglah aku ke jalan yang engkau sukai dan ridhoi, baik dalam perkataan maupun dalam amal ketaatan padaMu.

Sesungguhnya hanya engkau yang memiliki karunia lagi Maha Agung.

Ya ALLAH terimakasih atas hidayah, kekutan, semangat, rizky, kesehatan dan semua karunia yang telah engkau berikan kepadaku dan hanya kepadaMu lah aku memohon dan meminta.

AMIN.....

Haspia Pattisahusiwa : Mama....

terimakasih untuk do'a di setiap sujud mu.....

terimakasih untuk kasih sayang di setiap raga mu.....

terimakasih untuk perhatian di setiap lisan mu.....

Husein Sanaky (Alm) : Papa....

terimakasih untuk nasehat di setiap perhatian mu....

terimakasih untuk motifasi di setiap semangat mu....

terimakasih untuk inspirasi di setiap kenangan mu.....

My brothers : At, terimakasih untuk perjuangan mu....

Ade, terimakasih untuk pengorbanan mu....

Yus, terimakasih untuk pengertian mu....

My big family : Oma Na, tante Ut, om Abu, om edi-tante ina, opa kahar-oma sam, tante idja-om rush, tante arpa-fajar-pendi, abang acang-caca sri, aci sri-lia.

Terimakasih untuk do'a dan perhatian nya.....

Ibu Chamsiatin (Alm) : Ibu, terimakasih untuk kasih sayang mu....

Bapak Sudiro, ST.MT : Pak, terimakasih untuk ilmu dan nasehat nya hanya ALLAH yang bisa membalasnya....

Ibu Candra D W, ST.MT : Bu, terimakasih untuk ilmu dan perhatian nya hanya ALLAH yang bisa membalasnya....

Sesungguhnya aku mengingatkan kepadamu supaya kamu tidak termasuk orang-orang yang tidak berpengetahuan (Qs. Hud : 46).

ABSTRAKSI

Sanaky, Nur Aini., Sudiro, Dwi Ratna, Candra. 2008. **Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Duckweed (*Lemna Minor*)**. Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Nasional Malang,

Pabrik tahu menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup banyak. Untuk itu diperlukan pengolahan yang memadai agar limbah pabrik tahu ini tidak merusak lingkungan disekitarnya. Air buangan pabrik tahu banyak mengandung bahan-bahan organik yang pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik didalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Parameter utama yang dapat menunjukkan terjadinya pencemaran oleh air buangan industri tahu adalah BOD, COD, N, P, kekeruhan, suhu dan pH.

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar COD, N-total, P-total pada limbah cair industri tahu dengan memanfaatkan *Duckweed (lemna minor)* sebagai tanaman uji. Proses pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dikenal dengan istilah *fitoremediasi* dimana tumbuhan bekerja sama 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. Penelitian ini menggunakan reaktor kontinyu, yang meliputi variasi kerapatan *Duckweed (lemna minor)* sebesar 70 mg/cm², 80 mg/cm², 90 mg/cm², variasi waktu adalah 1 hari, 5 hari dan 10 hari dan variasi tinggi muka air 2 cm, 4 cm, 6 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen removal yang tertinggi sebesar 81,521 % untuk parameter N-Total, 90,376 % untuk parameter P-Total, 99,783 untuk parameter COD masing-masing pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² dengan ketinggian muka air 6 cm yang terjadi pada hari ke lima. Jelas terlihat bahwa kerapatan tanaman sebesar 80 mg/cm², ketinggian muka air 6 cm dan waktu detensi 5 hari pada proses *fitoremediasi* menggunakan tumbuhan air *duckweed (lemna minor)* dengan ukuran reaktor 23 cm x 10 cm adalah variasi yang paling baik dalam ruang lingkup penelitian untuk menurunkan kandungan senyawa organik dalam hal ini parameter N-Total, P-Total, dan COD.

Kata kunci : COD, Duckweed (*Lemna Minor*), Fitoremediasi, Limbah Cair Industri Tahu, N-Total, P-Total.

ABSTRACTION

Sanaky, Nur Aini., Sudiro., Dwi Ratna, Candra. 2008. Processing Of Industrial Waste Water of Tofu with Fitoremediasi Method Use Plant of Duckweed (*Lemna Minor*). Thesis, Environment Engineering, National Technology Institute of Malang

Factory of tofu produces waste in number which quite a lot. So it needed adequate processing in order that the waste do not destroy the environment around that factory. Discard water of tofu factory containing many organic materials which is on generally very high. The organic compounds on discard water are like protein, carbohydrate, fat, and oil. Especial parameter which able to show the happening of contamination by industrial discard water of tofu are BOD, COD, N, P, turbidity, temperature, and pH.

This research aim to reduce the rate of COD, Total N, Total P from industrial waste water of tofu by exploiting Duckweed (*lemna minor*) as the test crop. Process of waste processing by using water plant recognized with term of fitoremediasi where plant work together with mikroorganisme in media (soil, coral, and water) to change, to eliminating, stabilizing or breaking the contamination substance (or pollutant) becoming less or not dangerous at all even become materials which useful economically. This research use continue reactor, that are closeness variation of *Duckweed (lemna minor)* are 70 mg/cm², 80 mg/cm², and 90 mg/cm²; variation of detention time are 1 day, 5 days, and 10 days; and height of surface of the water variation are 2 cm, 4 cm, and 6 cm.

Result of research indicate that the highest removal gratuity are 81,521% for the parameter of N-total; 90,376% for the parameter of P-total; 99,783 for the parameter of COD in closeness of crop 80 mg/cm² with the height of surface of the water 6 cm that happened on the fifth day. Clear seen that closeness of crop 80 mg/cm², height of surface of the water 6 cm, and time of detention 5 days at process of fitoremediasi use duckweed water plant (*lemna minor*) with reactor's size 23 cm x 10 cm is best variation in research scope to reduce the organic compound content in this case parameter of N-total, P-total, and COD.

Keyword : COD, Duckweed (*Lemna Minor*), Fitoremediasi, Industrial Liquid Waste of Tofu, N-Total, P-Total.

KATA PENGANTAR

Penulis bersyukur atas Rahmat dan hidayah yang telah diberikan oleh Allah SWT sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul 'Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan *Duckweed (Lemna minor)*' tepat pada waktunya.

Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro, ST.MT, selaku Ketua Jurusan dan sekaligus dosen pembimbing I yang selalu menyediakan waktu untuk membimbing dan mengarahkan saya.
2. Ibu Candra Dwi ratna, ST.MT. selaku kepala Laboratorium lingkungan sekaligus dosen pembimbing II, sebagai dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu untuk membimbing dan mengarahkan saya.
3. Ibu Evi Hendriarianti, ST.MMT dan Ibu Tuani Lidiawati S, ST.MT. Selaku dosen rekomendasi yang telah menyediakan waktu untuk membimbing dan mengarahkan saya.
4. Pak DR. Hery Setyobudiarso, MSi dan Bapak Hardianto, ST.MT. Selaku dosen pembahas yang telah menyediakan waktu untuk membimbing dan mengarahkan saya.
5. Keluarga saya yang selalu mendukung dan menyayangi saya : Mama, Papa, at, ade dan yus, terimakasih.
6. Teman-teman TL'01 yang selalu menyemangati saya.

Dan akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya para rekan-rekan mahasiswa teknik Lingkungan ITN Malang

Malang, September 2008

Pemulis

Nur Aini Sanaky

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan
Lembar Pengesahan
Lembar Persembahan
Abstraksi	i
Abstraction	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Lampiran	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Limbah Cair Industri Tahu	4
2.1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu	4
2.1.2. Bahan Produksi Tahu	5
2.1.3. Proses Produksi Tahu	7
2.1.4. Bahaya Limbah Tahu	9
2.2. Fitioremidasi	10
2.3. Parameter Yang Di Uji	15
2.3.1 Chemical Oksigen Demand (COD)	15

2.3.2 Nitrogen (N).....	15
2.3.3 Phospor (P).....	15
2.4. Jenis-jenis Tumbuhan Air	16
2.4.1. Tumbuhan Uji	18
2.4.1.1 <i>Duckweed (Lemna Minor)</i>	18
2.5. Kebutuhan Unsur Hara	20
2.5.1. Unsur Hara Yang Dibutuhkan	20
2.5.2. Fotosintesis	21
2.5.3. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air	23
2.6. Aktivitas Mikroorganisme	24
2.7. Metode Pengolahan Data	25
2.7.1. Analisa Data Statistik Dalam Minitab	26
2.7.2. Statistik Deskriptif	26
2.7.3. Statistik Inferensi	27
2.7.4. Generalisasi dan Kesimpulan Analisa Data.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1. Variabel Penelitian.....	32
3.1.1. Variabel Terikat	32
3.1.2. Variabel Bebas.....	32
3.2. Alat dan Bahan.....	33
3.2.1. Alat-alat.....	33
3.2.2. Bahan	34
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 Kerapatan Tanaman Uji.....	35
3.4.2. Pengukuran COD.....	36

3.4.3. Pengukuran N Total	36
3.4.4. Pengukuran P Total.....	36
3.4.5. Pengukuran pH.....	36
3.4.6. Pengukuran Temperatur.....	36
3.4.7. Pengukuran Pertumbuhan Tanaman	36
3.5. Analisis Data Dan Pembahasan	37
3.6. Kerangka Penelitian	39
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	40
4.2. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Menggunakan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan <i>Duckweed (Lemna Minor)</i>	41
4.3. Analisis Penurunan Konsentrasi N Total.....	44
4.3.1. Analisis Deskriptif	44
4.3.2. Analisis Anova.....	44
4.3.3. Analisis Korelasi	47
4.3.4. Analisis Regresi	50
4.4. Analisis Penurunan Konsentrasi P Total.....	53
4.4.1. Analisis Deskriptif	53
4.4.2. Analisis Anova.....	53
4.4.3. Analisis Korelasi	56
4.4.4. Analisis Regresi	59
4.5. Analisis Penurunan Konsentrasi COD.....	62
4.5.1. Analisis Deskriptif	62
4.5.2. Analisis Anova.....	62
4.5.3. Analisis Korelasi	65
4.5.4. Analisis Regresi	68
4.6. Pembahasan	71
4.6.1. Penurunan Konsentrasi N Total	71

4.6.2. Penurunan Konsentasi P Total	74
4.6.3. Penurunan Konsentrasi COD	76
4.6.4. Analisis Pertumbuhan Tanaman	78

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	80

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR TABEL

2.1. Koefisien korelasi Guilford.....	28
4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	40
4.2. Nilai Konsentrasi Akhir Dan Persen Removel Penurunan N Total	41
4.3. Nilai Konsentrasi Akhir Dan Persen Removel Penurunan P Total	42
4.4. Nilai Konsentrasi Akhir Dan Persen Removel Penurunan COD.....	42
4.5. Nilai RGR (Relative Growth Rate)	43
4.6. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisa % R N Total	45
4.7. Uji Anova %Removel N-total Versus Variasi Waktu Detensi	46
4.8. Uji Anova %Removel N-total Versus Variasi Kerapatan Tumbuhan	46
4.9. Uji Anova %Removel N-total Versus Variasi Tinggi Muka Air.....	47
4.10. Uji Korelasi.....	48
4.11. Uji Regresi	50
4.12. Hasil Anova Untuk Analisis Regresi % R N Total.....	52
4.13. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisis % R P Total.....	54
4.14. Uji Anova %Removel P-total Versus Variasi Waktu Detensi.....	55
4.15. Uji Anova %Removel P-total Versus Variasi Kerapatan Tumbuhan.....	55
4.16. Uji Anova %Removel P-total Versus Variasi Tinggi Muka Air	56
4.17. Uji Korelasi.....	57
4.18. Uji Regresi	59
4.19. Hasil Anova Untuk Analisa Regresi % R P Total	61
4.20. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisis % R COD	63
4.21. Uji Anova %Removel COD Versus Variasi Waktu Detensi	64
4.22. Uji Anova %Removel COD Versus Variasi Kerapatan tumbuhan	64
4.23. Uji Anova %Removel COD Versus Variasi Tinggi Muka Air.....	65
4.24. Uji Korelasi.....	66
4.25. Uji Regresi	68
4.26. Hasil Anova Untuk Analisis Regresi % R COD.....	70

DAFTAR GAMBAR

2.1. Proses Alih Produksi Tahu.....	9
2.2. Proses Fitoekstraksi	11
2.3. Proses Rizofiltrasi	12
2.4. Proses Fitostabilisasi.....	12
2.5. Proses Rizodegradasi	13
2.6. Proses Fitodegradasi	14
2.7. Proses Fitovolatilisasi	14
2.8. <i>Duckweed (Lemna Minor)</i>	20
3.1. Kerangka Penelitian.....	39
4.1. Hubungan Antara Persen Removal N Total Dengan Tinggi Muka air Dan Kerapatan Tanaman Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi.....	44
4.2. Hubungan Antara Persen Removal P Total Dengan Tinggi Muka air Dan Kerapatan Tanaman Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi	53
4.3. Hubungan Antara Persen Removal COD Dengan Tinggi Muka air Dan Kerapatan Tanaman Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

- 1. Desain Alat**
- 2. Proses Penelitian**
- 3. Data Hasil Penelitian**
- 4. Analisis Statistik**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di berbagai kota besar terdapat jenis-jenis industri, mulai dari industri kecil seperti industri rumah tangga sampai industri besar seperti industri alat berat. Salah satu industri rumah tangga yang cukup banyak berkembang adalah pabrik tahu. Pabrik tahu menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup banyak. Untuk itu diperlukan pengolahan yang memadai agar limbah pabrik tahu ini tidak merusak lingkungan disekitarnya. Air buangan pabrik tahu banyak mengandung bahan-bahan organik dengan konsentrasi tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Di antara senyawa-senyawa tersebut, protein dan lemak yang jumlahnya paling besar (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987)

Parameter utama yang dapat menunjukkan terjadinya pencemaran oleh air buangan industri tahu adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Nitrogen* (N), *Phospor* (P), kekeruhan, suhu dan pH. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan sampai memenuhi standard kualitas air buangan yang berlaku. Namun kebanyakan pabrik tahu ini tidak memiliki pengolahan sendiri. Hal ini mungkin disebabkan oleh upaya untuk menekan biaya produksi. Untuk mengatasinya, maka perlu dicari suatu sistem pengolahan yang murah dan sederhana.

Selama beberapa dasawarsa ini telah dikembangkan alternatif pengolahan limbah secara alamiah yang lebih sederhana, lebih murah dan hanya membutuhkan energi sedikit atau bahkan tidak sama sekali didalam mengoperasikannya, yaitu pengolahan limbah dengan memanfaatkan tumbuhan air (*Aquatic Plant*). Proses pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dikenal dengan istilah *fitoremediasi*. *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.

Salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah industri tahu, khususnya untuk menurunkan N, P dan COD adalah *Duckweed (Lemna minor)* atau di Indonesia biasa disebut *motolele*. *Duckweed (Lemna minor)* merupakan salah satu tumbuhan air yang mengapung di air dan tidak melekat ke dasar, sedangkan bagian daun berada di atas permukaan air yang memungkinkan penerimaan sinar matahari secara langsung, sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung. *Duckweed (Lemna minor)* mempunyai produktivitas tinggi dalam menyerap BOD, COD, N, P, dan beberapa logam berat yang ada di dalam air yang menjadi media tumbuhnya *duckweed (Lemna minor)* (Polprasert dalam Fitriani, 2002).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan manfaat *Duckweed (Lemna minor)* misalnya Fitriani (2002) menyatakan bahwa *Duckweed (Lemna minor)* dapat menurunkan kadar N total dan P total lebih besar pada limbah cair domestik, Eka (1998) telah menunjukkan dekonsentrasi ammonium dan nitrat oleh *Duckweed (Lemna minor)*, Raharjo (1998) telah meneliti kemampuan *Duckweed (Lemna minor)* dalam menurunkan N total dan P total pada limbah tinja.

Hasil beberapa penelitian tersebut, maka akan dilakukan penelitian untuk menurunkan konsentrasi senyawa organik pada air limbah industri tahu dengan menggunakan *Duckweed (Lemna minor)*.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar kemampuan tanaman *Duckweed (Lemna minor)* untuk menurunkan kandungan senyawa organik dalam air limbah industri tahu ?
2. Seberapa besar kerapatan *Duckweed (Lemna minor)* yang optimum untuk menurunkan kandungan senyawa organik pada air limbah industri tahu ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kemampuan *Duckweed (Lemna minor)* dalam menurunkan kandungan senyawa organik pada air limbah industri tahu.
2. Mengetahui kerapatan *Duckweed (Lemna minor)* yang optimum untuk menurunkan senyawa organik pada air limbah industri tahu.

1.4. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium
2. Sampel yang digunakan adalah sampel yang berasal dari limbah industri tahu.
3. Pengolahan biologis dengan memanfaatkan tumbuhan air yaitu *Duckweed (Lemna minor)*.
4. Pada penelitian ini sistem proses yang digunakan adalah sistem batch, dan pada reaktor menggunakan sumber cahaya alami (matahari).
5. Parameter utama yang diukur adalah kandungan COD, N total dan P total.
6. Parameter penunjang yang diukur adalah pH, temperatur, pengamatan terhadap keadaan fisik *Duckweed (Lemna minor)* dan pengukuran pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)*.
7. Variasi yang dilakukan adalah variasi kerapatan tumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* waktu detensi dan Tinggi Muka Air.
8. Waktu penelitian dilakukan selama 10 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair Industri Tahu

2.1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Limbah tahu adalah limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tahu maupun pada saat pencucian kedelai. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat dan cair. Setiap kwintal kedele akan menghasilkan limbah 1.5 – 2 m³ air limbah.

Limbah yang dihasilkan :

- sisa air tahu yang tidak menggumpal.
- Potongan tahu yang hancur pada saat proses karena kurang sempurnanya proses penggumpalan.
- Limbah tahu keruh dan berwarna kuning muda keabu-abuan dan bila dibiarkan akan berwarna hitam dan berbau busuk.

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam air buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik didalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat dan minyak. Di antara senyawa-senyawa tersebut, protein dan lemak yang jumlahnya paling besar (*Nurhasan dan Pramudyanto, 1987*) yang mencapai 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, dan 10% lemak (*Sugiharto, 1987*).

Karakteristik air limbah tahu ada dua hal yang perlu diperhatikan yaitu : karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Berikut ini adalah kualifikasi air limbah tahu :

- pH : 4 – 5,5
- Suhu : 37 – 45⁰ C
- Kekeruhan : 535 = 585 FTU

- Warna : 2.225 – 2.250 Pt.Co
- Amonia : 23,3 – 23,5 mg/l
- BOD₅ : 6000 – 8000 mg/l
- COD : 7.500 – 14.000 mg/l

(Nurhasan dan Pramudyanto, 1987).

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam air limbah tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik tersebut antara lain :

- Protein : 40 – 60 %
- Karbohidrat : 25 – 50 %
- Lemak : 10 %

2.1.2. Bahan produksi Tahu

Tahu merupakan makanan yang terbuat dari bahan baku kedelai dan prosesnya masih sederhana dan terbatas pada skala rumah tangga. Tahu juga dapat diartikan sebagai hasil olahan dari olahan ekstrak kedelai diperlakukan dengan kalsium sulfat atau batu tahu juga bias dengan asam asetat (asam cuka). Bahan-bahan yang digunakan untuk proses produksi tahu antara lain :

1. Kedelai

Kedelai merupakan bahan pokok yang paling mutlak untuk produksi untuk produksi tahu. Mutlak dalam arti pada umumnya dipakai sebagai syarat pokok yang harus dipenuhi dalam proses produksi tahu. Tanpa kedelai tidak akan mendapatkan hasil tahu yang diharapkan. Dengan kata lain kedelai sebagai bahan pokok produksi tahu yang tidak dapat diganti dengan bahan lain.

Cara memilih kacang kedelai yang baik untuk produksi tahu antara lain :

- Cepat padat
- Tidak mudah rusak
- Dapat bertahan dua sampai tiga hari
- Banyak menghasilkan pati
- Memiliki rasa gurih, lezat dan nikmat
- Warna tahu yang dihasilkan putih dan bersih

2. Air

Air biasanya digunakan untuk mendapatkan sari kedelai. Didalam proses pembuatan tahu air digunakan untuk perendaman dan pencucian, penggilingan, perebusan, penyaringan dan penggumpalan.

3. Pengawet Tahu

Untuk memperpanjang umur tahu agar tahan lamadalam pemasaran, sebagian orang akan berusaha untuk mengawetkan tahu agar tahan lama dalam penyimpanan. Pada umumnya proses pengawetan dilakukan dengan cara merendam dalam air tahu dengan merebus. Ada pula yang diawetkan dengan kunyit sambil memberi warna kuning. Zat pengawet yang paling efektif adalah zat kimia. Zat pengawet tersebut diperlukan untuk menghambat atau memperlambat proses fermentasi, asidifikasi atau dekomposisi pada bahan makanan.

Zat pengawet sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Dapat mengawetkan makanan
- Tidak berbahaya apabila dimakan
- Tidak memberikan gejala adanya bau, rasa pada makanan
- Mudah dipantau kembali setelah dikonsumsi ke dalam makanan
- Menaikkan nilai ekonomi terhadap kualitas bahan makanan.

Proses pengawetan hasil produksi tahu yang dilakukan para pengrajin disentra industri tahu kelurahan Mulyorejo umumnya menggunakan metode secara alami, yaitu pengawetan tahu dengan cara direndam dalam air ataupun direbus terlebih dahulu sebelum dipasarkan atau juga diberi bahan pengawet alami yaitu kunyit dan direndam sebagai pewarna tahu untuk jenis atau produk tahu kuning.

2.1.3. Proses Produksi Tahu

Pembuatan tahu pada prinsipnya dengan cara mengekstraksi protein, kemudian mengumpulkannya, sehingga terbentuk padatan protein. Adapun urutan proses produksi tahu antara lain :

1. Perendaman dan pencucian

Pekerjaan paling awal dalam pembuatan tahu adalah memilih kedelai. kedelai yang baik adalah kedelai yang baru atau belum tersimpan lama digudang. Kedelai yang baru dapat menghasilkan tahu yang baik (aroma dan bentuk). Kedelai yang digunakan biasanya berwarna kuning, putih, atau hijau dan jarang menggunakan jenis kedelai yang berwarna hitam.

Setelah kedelai tersedia, selanjutnya direndam dalam air bersih selama 3 jam. Lama perendaman ini masing-masing pengrajin mempunyai kebiasaan sendiri, dimana ada yang merendam selama 4 jam. Untuk setiap 100 kg kedelai direndam dalam air bersih sebanyak 250 liter dan 200 liter air rendaman dibuang sebagai limbah cair. Selanjutnya kedelai hasil rendaman dicuci dengan air bersih sebanyak 400 liter, untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada kedelai. Air bekas cucian tersebut dibuang sebagai limbah cair.

2. Penggilingan

Setelah kedelai direndam dan dicuci bersih, selanjutnya dilakukan penggilingan. Proses penggilingan dilakukan dengan menggunakan mesin, karena penggunaan mesin akan memperhalus hasil gilingan kedelai. Pada saat penggilingan diberi air mengalir agar bubur kedelai terdorong keluar. Air yang digunakan untuk proses penggilingan sebanyak ± 400 liter untuk 100 kg kedelai.

3. Perebusan

Bubur kedelai yang telah terbentuk kemudian diberi air ± 200 liter untuk 100 kg kedelai, selanjutnya dididihkan dalam tungku pemasakan dalam tungku uap panas bertekanan yang dihasilkan dari

ketel uap. Sebagai bahan bakar ketel uap digunakan kayu, setelah mendidih selama 5 menit kemudian dilakukan penyaringan.

4. Penyaringan dan penggumpalan

Dalam keadaan panas cairan bahan baku tahu disaring dengan kain blaco sambil dibilas air hangat ± 400 liter untuk 100 kg kedelai, sehingga susu kedelai dapat terekstrak. Filtrate cair hasil penyaringan yang diperoleh kemudian ditampung dalam bak. Filtrate dalam keadaan hangat secara pelan-pelan diaduk sambil diberi asam (catu) sebanyak ± 350 liter. Air asam cuka (catu) berasal dari sisa penggumpalan tahu. Pemberian air asam dihentikan apabila proses terlihat penggumpalan. Selanjutnya dilakukan penyaringan ke 2. Jumlah limbah cair yang terjadi pada proses penyaringan ke 2 ini ± 350 liter.

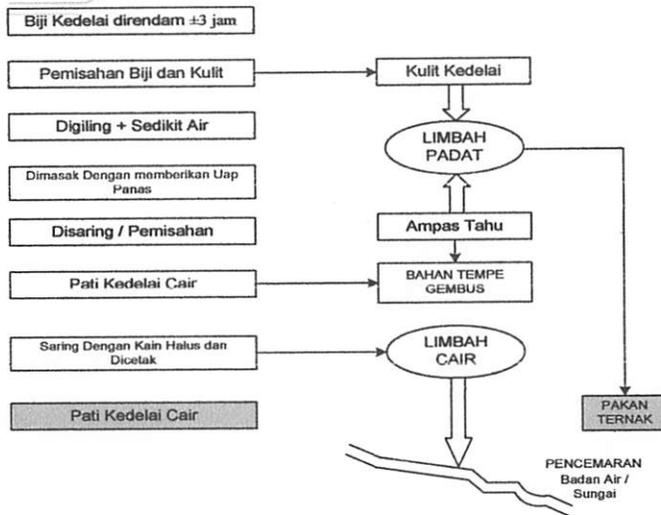
5. Pencetakan dan pemotongan

Cairan bening diatas gumpalan tahu dibuang sebagian dan sisanya untuk air asam. Gumpalan tahu kemudian diambil dan dituangkan kedalam cetakan kayu yang sudah tersedia dan dialasi dengan kain. Selanjutnya kain ditutupkan keseluruhan gumpalan tahu dan dipres. Semakin berat benda yang digunakan untuk mengepres semakin keras tahu yang dihasilkan. Setelah dirasa cukup dan tahu sudah dingin, kemudian dipotong-potong sesuai keinginan. Untuk setiap 1,8 kg kedelai menghasilkan 5,5 kg tahu dengan kadar air 85% atau setiap 1 kg kedelai dapat menghasilkan 20 potong tahu. Pada proses pencetakan air limbah yang dihasilkan ± 250 liter untuk setiap 100 kg bahan baku kedelai.

Komposisi tahu mengandung unsure air, protein, lemak dan karbohidrat dengan kadar sebagai berikut :

- Air : 84-90 %
- Protein : 5-8 %
- Lemak : 3-4 %
- Karbohidrat : 2-4 %

Untuk lebih jelas mengenai diagram alir proses produksi tahu dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1. Proses Alir Produksi Tahu

(Sumber : Waluyo dan Hary dalam Ferdian, 2006)

2.1.4. Bahaya Limbah Tahu

Pengolahan limbah cair tahu sangat diperlukan karena sifat limbah yang antara lain :

- Limbah cair mengandung zat-zat organik terlarut dan padatan terlarut yang mengalami perubahan secara fisika, kimia, maupun hayati yang bias menjadi media tumbuhnya kuman, serta menimbulkan bau busuk.
- Suhu air limbah tahu rata-rata 40-60⁰ C. suhu ini lebih tinggi dibandingkan suhu rata-rata air lingkungan. Pembuangan secara langsung, tanpa proses dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup.
- 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.

2.2. Fitoremediasi

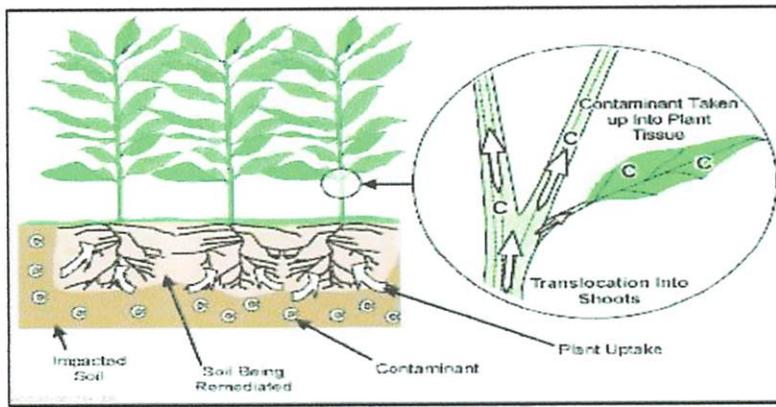
Selama beberapa dasawarsa ini telah dikembangkan alternatif pengolahan limbah yang lebih sederhana yaitu pengolahan limbah dengan memanfaatkan tumbuhan air. Metode ini digunakan karena tumbuhan air memiliki kemampuan untuk memisahkan bahan pencemar dalam air limbah.

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 :

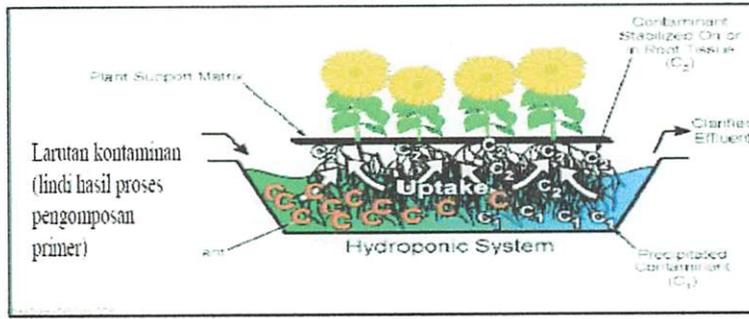
1. Fitoekstraksi / fitoakumulasi (*Phytoaccumulation / phytoextraction*) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*. Dapat dilihat pada gambar 2.2 akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi 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 2.2 Proses fitoekstraksi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

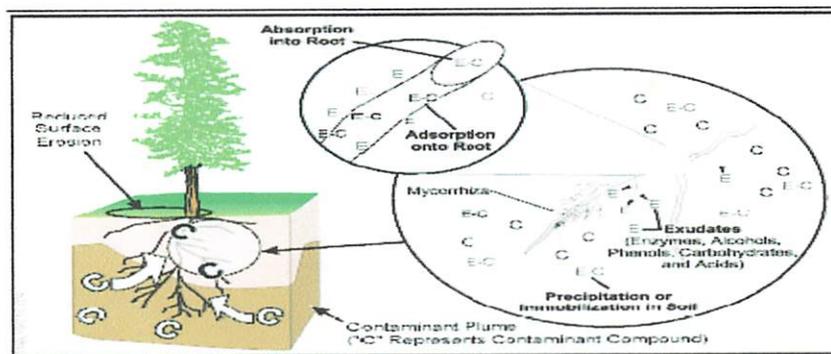
2. *Rhizofiltration* (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar atau pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Dapat dilihat pada gambar 2.3 akar tumbuhan mengadsorpsi atau 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 (Mangkoedihardjo, 2002).



Gambar 2.3 Proses rizofiltrasi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

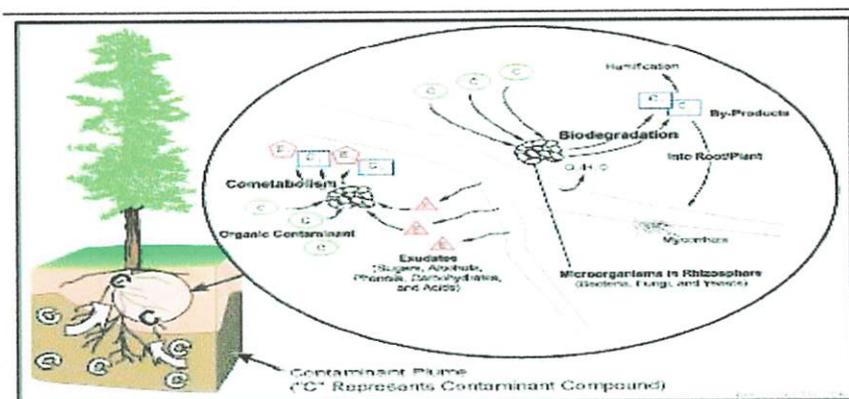
3. **Fitostabilisasi (*phytostabilization*)** yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media. Dapat dilihat pada gambar 2.4 akar tumbuhan melakukan immobilisasi 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 2.4 Proses fitostabilisasi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

4. **Rizodegradasi (*Rhizodegradation*)** disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation, or plant-assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri. Dapat dilihat pada gambar 2.5 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 organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.

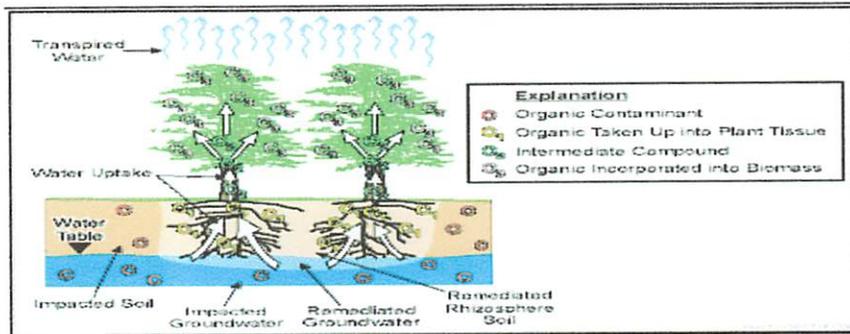


Gambar 2.5 Proses rizodegradasi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

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 enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Dapat dilihat pada gambar 2.6 organ tumbuhan

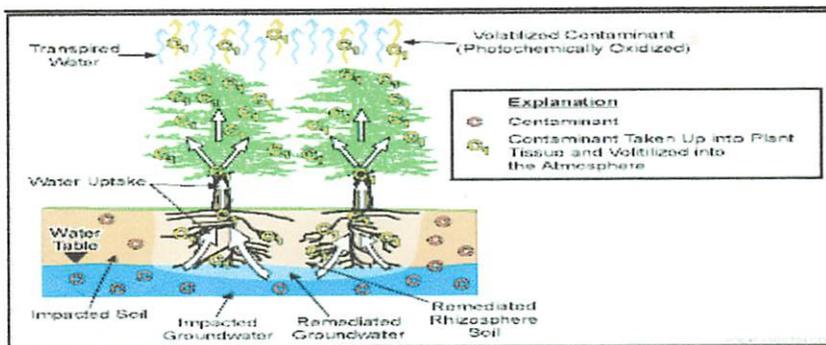
menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air.



Gambar 2.6 Proses fitodegradasi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

6. **Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)** 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 atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang. Dapat dilihat pada gambar 2.7 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 2.7 Proses fitovolatilisasi

(Sumber : www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf.)

2.3. Parameter Yang Di Uji

2.3.1. Chemical Oksigen Demand (COD)

COD ditentukan dengan mengukur ekuivalen oksigen dari zat-zat organik dalam sampel dengan oksidator kimia yang kuat. COD merupakan parameter yang sangat penting, yakni parameter pengukuran cepat yang digunakan sebagai parameter untuk stream dan limbah industri serta mengontrol unit pengolahan air limbah.

2.3.2. Nitrogen (N)

Nitrogen dalam air dapat berada dalam beberapa bentuk nitrit, nitrat, amonia atau N yang terikat oleh bahan organik maupun anorganik. Nitrit dan nitrat merupakan bentuk nitrogen yang teroksidasi dengan tingkat oksidasi +3 dan +5. Nitrit biasanya tidak bertahan lama dan merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat yang dapat terjadi di dalam air sungai, sistem drainase, instalasi air buangan dan sebagainya. Sedangkan nitrat bentuk senyawa yang stabil dan keberadaannya berasal dari buangan pertanian, pupuk, kotoran hewan dan manusia dan sebagainya.

Keberadaan nitrit dalam jumlah tertentu dapat membahayakan kesehatan karena dapat bereaksi dengan hemoglobin dalam darah, hingga darah tidak dapat mengangkut oksigen lagi. Sedangkan nitrat dalam konsentrasi tinggi dapat menstimulasi pertumbuhan gangga yang terbatas sehingga air kekurangan oksigen terlarut yang bisa menyebabkan kematian ikan. (*Damayanti, Hermana dan Masduqi, 2004*).

2.3.3. Phospor (P)

Phospor diperlukan untuk metabolisme bakteri phospor digunakan bakteri untuk sintesa asam nukleat. Phospor terdapat dalam bentuk fosfat. Fosfat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik. Ortofosfat adalah senyawa monomer seperti H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , sedangkan polifosfat (juga disebut "condensed phosphates") merupakan senyawa polimer seperti $(\text{PO}_3)_6^{3-}$ (heksametafosfat), $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ (tripolifosfat), dan $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ (pirofosfat); fosfat organik adalah P yang terikat dengan senyawa-senyawa organik sehingga tidak berada dalam larutan secara terlepas. Dalam air alam atau

air buangan, fosfor P yang terlepas dan senyawa P selain yang disebutkan di atas hampir tidak ditemui.

Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air. Polifosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk dan industri. Fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organik dapat pula terjadi dari ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat untuk pertumbuhannya. Berbagai macam jenis fosfat juga dipakai untuk pengolahan anti-karat dan anti-kerak pada pemanas air (boiler).

Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Bila kadar fosfat dalam air rendah seperti pada air alam (< 0.01 mg P/l) pertumbuhan dan ganggang akan terlahang. Keadaan ini disebut oligotrop. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi, pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terbatas lagi (keadaan eutrop), sehingga dapat menghabiskan oksigen dalam sungai atau kolam pada malam hari atau bila tanaman tersebut mati dan dalam keadaan sedang dicerna (*digest*). (*Alaerts, G. dan Santika, 1987*).

2.4. Jenis-jenis Tumbuhan Air

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

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

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

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

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

Ada dua jenis *floating type*, yaitu:

a. *Floating attached*

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

b. *Floating unattached*

Akar dari jenis ini menggantung di air dan tidak menempel pada dasar perairan dan juga tidak membutuhkan media di dalam penanamannya. Sehingga cara penanaman tumbuhan ini lebih mudah hanya meletakkan di atas permukaan air saja. Yang termasuk dalam golongan ini adalah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), Kangkung Air (*Ipomea aquatica*), Duckweed (*Lemna minor*).

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

Tumbuhan ini dapat tumbuh subur pada tanah basah, tanah selalu tertutup dengan jumlah air yang kecil atau tanah yang mengering dan menjadi jenuh (Anonim, 2003. *Water Gardening. nSnare Digital Media*). Jenis tumbuhan air ini memiliki akar dan batang yang terendam dalam air. Namun, sebagian besar batangnya justru menyembul ke permukaan air. Selain batang, bagian batang dan bunganya juga berada di atas permukaan

air, yang termasuk tumbuhan jenis ini adalah *Cattail (Typha angustifolia)*, Rumput payung (*Cyperus alternifolius*) dan *Bulrush (Pontedoriacordenata)*.

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

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

2.4.1. Tumbuhan Uji

2.4.1.1. Duckweed (*Lemna minor*)

Duckweed (Lemna minor) mempunyai beberapa nama lokal. menurut Sunarmi dalam Eka (1998), Duckweed dikenal dengan nama sawuran, namun ada sebuah buku yang menyatakan bahwa Duckweed dalam bahasa Indonesia disebut kiambang kecil. Tetapi di Indonesia lebih dikenal dengan *motolele* merupakan tumbuhan mengapung bebas di atas permukaan air, berukuran kecil, dan berwarna hijau. Duckweed banyak ditemukan hampir diseluruh dunia dan biasa tumbuh di perairan yang tenang, kaya akan nutrisi, dan payau. Perkembangbiakannya umumnya dilakukan secara vegetatif (dengan tunasnya). Tumbuhan ini mempunyai dua kantung tunas yang terletak di sisi pinggir daun yang berisi putik dan dua benang sari. *Duckweed (Lemna minor)* tumbuh berkelompok, jika sudah banyak akan menyerupai selimut atau permadani. Bentuk daun oval berukuran 2-4 mm, warna daun hijau, hanya mempunyai satu akar dengan panjang antara 5-20 mm. Fungsi terpenting dari tumbuhan ini adalah proses fotosintesis dimana ditunjukkan dengan kemampuannya merubah bahan anorganik menjadi organik. Duckweed akan tumbuh dengan baik dan subur apabila segala unsur yang dibutuhkan cukup tersedia dalam bentuk yang sesuai untuk diserap. Tumbuhan ini dapat tumbuh dengan baik pada pH 4,5-7,5 dan pada suhu optimum 18-40⁰ C.

Dalam taksonomi tumbuhan, tumbuhan *duckweed* (*Lemna minor*) diklasifikasikan sebagai berikut:

Divisio	: Anthophyta
Klas	: Anthophyta
Ordo	: Filicales
Famili	: Lemnaceae
Genus	: Lemna
Spesies	: <i>Lemna minor</i>

Menurut Sunarmi dan Purwohadijanto dalam Fitriani (1998), Air sebagai media tumbuh duckweed harus memenuhi kriteria berikut :

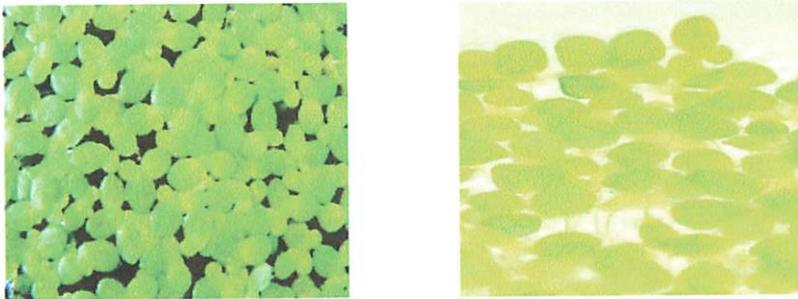
- Mempunyai suhu optimum untuk mendukung proses hidup (18-40⁰ C).
- Dapat menerima intensitas sinar matahari secara cukup.
- Mengandung unsur-unsur hara yang cukup (C, H, N, P, K, S, Mg, Na, dan lain-lain).

Duckweed (*lemna minor*) dapat tumbuh dan berkembang pada daerah yang memiliki banyak kandungan nitrogen dan pospat dan juga sinar matahari yang cukup. Di perairan seperti waduk, danau, maupun rawa, unsur hara yang diperlukan oleh duckweed diperoleh dari hasil penguraian bahan organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan atau hewan yang telah mati, atau sampah yang berasal dari perumahan penduduk yang terbawa aliran dan masuk ke perairan. Selain itu, duckweed digunakan sebagai sumber makanan bagi banyak ikan dan burung, khususnya bebek, duckweed juga menyediakan tempat hidup dan perlindungan bagi hewan yang tinggal di air, seperti katak, ular, ikan, serangga, udang dan lain-lain.

Di Peru telah terbukti bahwa duckweed dapat menjadi pengganti kedelai dan pakan ternak, dimana ternak unggas yang diberi 40% *Duckweed* (*Lemna minor*) pada makanannya dapat menghasilkan lebih banyak telur dengan kualitas yang sama atau lebih dan meningkatkan tingkat pertumbuhan pada ayam boiler. Dan menurut Lemna USA Incorporacion, duckweed dapat menurunkan BOD, TSS, N, P atau limbah sampai 99% dan dapat menekan pertumbuhan alga, mencegah bau, dan lumpur yang dihasilkan sedikit sehingga dapat menekan biaya

pengolahan limbah sampai 50% jika dibandingkan dengan menggunakan proses kimia atau mekanikal konvensional. (Skillicorn,1993 dalam eka,1998).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat seberapa jauh manfaat duckweed sebagai pengurai bahan organik seperti dilakukan oleh wiyono dalam Raharjo (1998), yang menyatakan bahwa duckweed dapat digunakan untuk menurunkan kandungan COD, N total, P total pada air limbah dengan kepadatan awal penanaman duckweed yang optimal yaitu 60 mg/cm².



Gambar 2.8. Duckweed (*Lemna minor*)

(Sumber : http://www.fishfarmsupply.ca//duckweed_mounted.jpg)

2.5. Kebutuhan Unsur Hara

2.5.1. Unsur Hara Yang Dibutuhkan

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

1. Unsur makro

Yang termasuk dalam unsur makro adalah C, H, O, N, P, S, K, Ca dan Mg. Unsur makro merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang besar. Tumbuhan mengambil karbon (C) dalam bentuk CO₂ yang berasal dari atmosfer. Air dan unsur lainnya diambil dari dalam tanah.

2. Unsur mikro

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

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

- a. Sebagai sumber kehidupan
- b. Sebagai pelarut unsur hara dalam tanah sehingga dapat diserap oleh tumbuhan
- c. Merupakan proses penting dalam fotosintesa
- d. Untuk mempertahankan suhu tumbuhan sehingga sesuai dengan suhu lingkungan (Suwariyanti, 2002).

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

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

2.5.2. Fotosintesis

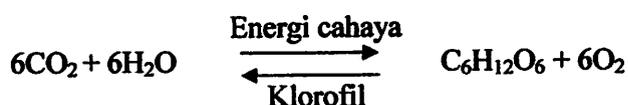
Pada hakikatnya, semua kehidupan di atas bumi ini tergantung langsung dari adanya proses asimilasi CO_2 menjadi senyawa kimia organik dengan energi yang didapat dari sinar matahari. Dalam proses ini energi sinar matahari (energi foton) ditangkap dan diubah menjadi energi kimia dengan proses yang disebut *fotosintesis*. Energi matahari yang ditangkap oleh proses fotosintesis merupakan lebih dari 90% sumber energi yang dipakai oleh manusia untuk pemanasan, cahaya, dan tenaga (Kusumah dalam Subrata, 2007).

Fotosintesis merupakan suatu sifat fisiologi yang hanya dimiliki oleh tumbuhan. Pada waktu proses fotosintesis berlangsung molekul-molekul air diambil dari media hidupnya, sedangkan karbondioksida (CO_2) diambil dari udara atau dari dalam air dalam bentuk karbondioksida terlarut. Oleh kloroplas tumbuhan, atom-atom C, H, dan O dari zat-zat tersebut diubah menjadi senyawa

hidrat arang (gula atau pati). Sebagai hasil tambahan dari proses fotosintesis, tumbuhan mengeluarkan kelebihan oksigen ke udara dan perairan sehingga dapat dimanfaatkan oleh organisme air. Sedangkan gula yang dihasilkan dari proses fotosintesis merupakan bahan bakar dalam proses respirasi dan menghasilkan energi yang berguna untuk tumbuh dan berkembang biak. Dalam proses fotosintesis ini, diperlukan adanya cahaya matahari. Besarnya energi yang diberikan oleh cahaya tergantung dari intensitas cahaya (banyaknya sinar per cm^2 per detik) dan waktu penyinaran. Proses fotosintesis ini tidak dapat berjalan pada suhu kurang dari 5°C .

Laju fotosintesis akan tinggi bila intensitas cahaya tinggi dan akan menurun bila intensitas cahaya berkurang. Oleh karena itu cahaya berperan sebagai faktor pembatas utama dalam fotosintesis atau produktifitas primer (Sudjadi, 2006). Unsur radiasi matahari yang penting bagi tanaman ialah intensitas cahaya, kualitas cahaya, dan lamanya penyinaran. Bila intensitas cahaya yang diterima rendah, maka jumlah cahaya yang diterima oleh setiap luasan permukaan tanaman dalam jangka waktu tertentu rendah (Gardner et al., 1991 ; Djukri dan Purwoko dalam Subrata, 2007). Kondisi kekurangan cahaya berakibat terganggunya metabolisme, sehingga menyebabkan menurunnya laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat (Chowdury et al., 1994 ; Soepandi et al., 2003 ; Djukri dan Purwoko dalam Subrata, 2007).

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



Selain CO_2 , air dan cahaya, ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses fotosintesa antara lain:

a. Unsur hara

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

b. Suhu

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

c. Umur daun

Sejalan dengan pertumbuhan daun, kemampuannya untuk melakukan fotosintesa akan meningkat sampai daun tersebut berkembang penuh, kemudian mulai turun secara perlahan. Daun tua yang hampir mati, tidak mampu berfotosintesa karena rusaknya klorofil dan hilangnya fungsi dari kloroplas (Suwariyanti, 2002).

2.5.3. Mekanisme penyerapan unsur hara oleh tumbuhan air

Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui akar atau daun. Unsur karbon (C) dan oksigen (O) diambil oleh tanaman dari udara sebagai CO_2 melalui stomata daun dalam proses fotosintesis. Sedangkan unsur H diambil dari air tanah (H_2O) oleh akar tanaman dan dalam jumlah sedikit air juga diserap tanaman melalui daun. Unsur-unsur hara yang diserap oleh tumbuhan terdapat dalam bentuk kation dan anion yang terlarut dalam air. Air yang mengandung bahan pencemar dan berbahaya bagi lingkungan seperti air limbah dari industri seperti logam berat, maupun air limbah domestik, tetapi bermanfaat bagi tumbuhan maka bahan tersebut akan diserapnya (Widyastuti dalam Subrata, 2007). Proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan ini dapat berlangsung bila unsur hara tersebut telah berkontak dengan permukaan akar. Penyerapan unsur hara oleh akar melibatkan beberapa proses antara lain :

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

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

2. Penimbunan ion dalam sel akar.

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

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

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

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

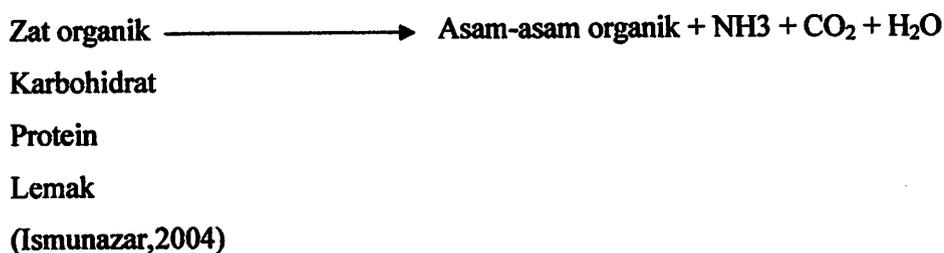
2.6. Aktivitas mikroorganisme

Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang tersisa pada larutan yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar tumbuhan akan diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat yang lebih sederhana.

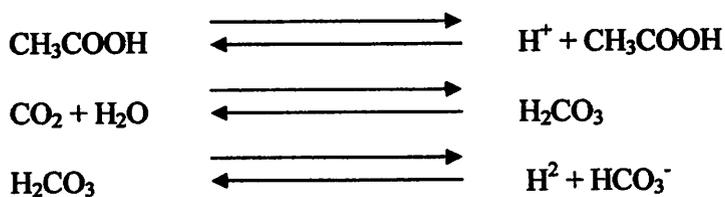
Pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air seperti *Duckweed (Lemna minor)*, mikroorganisme dan *Duckweed (Lemna minor)*

merupakan organisme utama yang berperan dalam proses penyerapan zat organik dan nutrient dalam air limbah. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang mudah diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)*, yang akan memicu *Duckweed (Lemna minor)* untuk mempercepat proses penguraian bahan organik, selain itu proses penyerapan ion-ion oleh *Duckweed (Lemna minor)* akan mencegah terjadinya pemupukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi mikroorganisme itu sendiri.

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



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



(Ismunazar,2004)

2.7. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Statistik merupakan salah satu metode analisis dalam penelitian yang hasil analisisnya dapat digunakan sebagai alat bantu mengambil suatu keputusan dalam suatu penelitian. Pada intinya, analisis data statistik berkaitan dengan konsep-konsep mengumpulkan, menyajikan dan menyorikan data. Hasil intepretasi analisis data statistik yang telah dilakukan akan membantu peneliti dalam mengambil suatu kesimpulan atas

penelitian yang telah dilakukan. Metodologi statistik didasarkan pada proses analisisnya yang meliputi analisis deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi).

Pengolahan data secara statis membutuhkan ketelitian dan kesabaran yang cukup tinggi. Pekerjaan mengolah data statistik bisa dimudahkan dengan menggunakan program aplikasi untuk mengolah data statistik. Salah satu program aplikasi statistik adalah Minitab.

2.7.1. Analisis Data statistik Dalam Minitab

Minitab merupakan salah satu program aplikasi statistika yang banyak digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistik. Minitab dapat digunakan dalam pengolahan data statistik untuk tujuan sosial maupun teknik. Minitab menyediakan beberapa pengolahan data untuk melakukan analisis regresi, membuat ANOVA, membuat alat pengendali kualitas statistika, membuat desain eksperimen, membuat peramalan dengan analisis time series, analisis reliabilitas, dan analisis multivariat, serta menganalisis data kualitatif (Iriawan dan Astuti, 2006)

2.7.2. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskriptifkan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Statistik deskriptif memberikan informasi secara visual dan lebih bersifat subyektif dalam pembuatan analisisnya.

Analisis statistik deskriptif menunjukkan ukuran kecenderungan pusat seperti rata-rata (Mean), median, Kuartil 1 (Q1), kuartil 3 (Q3), serta ukuran penyebaran data seperti standar deviasi (StDev) dan standar error of mean (SE Mean). Statistik deskriptif menyediakan pula informasi data tertinggi (Maksimum) dan terendah (Minimum) yang berguna untuk mengukur range sebagai ukuran penyebaran data.

Minitab menyediakan alat statistik untuk analisis deskriptif yaitu *Display Descriptive Statistic* yang merupakan sub menu dari menu utama yaitu *Basic Statistic* atau statistik sederhana (Iriawan dan Astuti, 2006).

2.7.3. Statistik Inferensi

Statistik inferensi mencakup semua metode yang berhubungan dengan analisa data untuk kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan. Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih obyektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang ditunjang dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengukuran. Statistik inferensi selanjutnya akan dijabarkan kembali ke dalam penaksiran titik dan penaksiran selang dari suatu nilai parameter dan juga pengujian hipotesis dari suatu masalah. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut :

1. Analisis korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel digunakan analisis korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan, terutama untuk data kuantitatif dinamakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan, meliputi kekuatan hubungan dan bentuk atau arah hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup $(-1, 1)$. Untuk membaca besarnya derajat keeratan dari hubungan terdapat dua hal yang harus diperhatikan, yakni :

- Melihat tanda dari derajat keeratan, positif atau negatif. Hubungan statistika kedua peubah akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang bertolakbelakang dengan peubah lainnya. Atau dengan kata lain, apabila nilai satu peubah membesar maka nilai peubah lainnya mengecil. Sedangkan hubungan statistika kedua peubah akan bernilai positif jika hubungan kedua peubah searah atau dengan kata lain apabila satu peubah nilainya membesar maka peubah lainnya ikut membesar dan sebaliknya.
- Melihat besarnya nilai derajat keeratan. Untuk membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statistika dua peubah menurut *Guilford* pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1. Koefisien Korelasi Guilford

Nilai Hubungan Statistika Dua Peubah	Keterangan
< 0,2	Tidak terdapat hubungan antara kedua peubah
Antara 0,2 s/d 0,4	Hubungan kedua peubah lemah
Antara 0,4 s/d 0,7	Hubungan kedua peubah sedang
Antara 0,7 s/d 0,9	Hubungan kedua peubah kuat
Antara 0,9 s/d 1	Hubungan kedua peubah sangat kuat

(Sumber : Soleh,2005)

Sebagai catatan penting, nilai hubungan statistika dua peubah sama dengan '1' memiliki makna bahwa terdapat hubungan yang sempurna antara kedua peubah. Atau dengan kata lain, nilai suatu peubah dapat dengan tepat atau pasti dijelaskan oleh peubah lainnya. Lain halnya dengan nilai statistika dua peubah sama dengan '0' menunjukkan tidak adanya hubungan diantara kedua peubah atau terjadi hubungan nonlinier (Iriawan dan Astuti, 2006)

➤ **Hipotesis.**

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antarvariabel ($\rho = 0$).
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel ($\rho \neq 0$)

Dasar pengambilan keputusan:

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

➤ **Input data dalam software Minitab 14 (Iriawan dan Astuti, 2006)**

- a. Pilih basic statistic > Correlation
- b. Pada kotak dialog, klik dua kali pada semua variabel (variabel bebas dan variabel terikat)

c. Untuk menampilkan p-value, pilih display p-value.

d. Klik ok.

2. Analisis regresi

Analisis regresi adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor, mengetahui pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respons dan untuk memprediksi pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respons (Iriawan dan astuti, 2006).

Model regresi memiliki variabel prediktor atau variabel bebas (x) dan variabel respons atau variabel terikat (y). Kedua variabel dihubungkan dalam bentuk persamaan matematika. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Dimana :

Y = Variabel respons.

β_0 = Intersep (nilai Y ketika variabel bebas bernilai nol)

$\beta_1 \dots \beta_k$ = Parameter model regresi untuk variabel $X_1, X_2 \dots X_k$

$X_{1,2,\dots,k}$ = Variabel bebas

Pada analisis regresi juga diperlukan beberapa pengujian, yaitu :

- Uji F yang digunakan untuk mengetahui kelinieran model regresi.

Hipotesis:

H_0 = Y tidak memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

H_1 = Y memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

Pengambilan Keputusan :

Dengan membandingkan statistik F hitung dengan F tabel. Apabila F hitung > dari F tabel, maka kesimpulannya adalah H_0 ditolak dan H_1 diterima. Atau variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier

- Uji T digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien dari variabel bebas.

Hipotesis:

H_0 = koefisien regresi tidak signifikan

H_1 = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

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

- Input data dalam software Minitab 14 (Iriawan dan Astuti, 2006)
 - a. Pilih stat > Regression > Regression
 - b. Dalam Response, masukan variabel terikat dengan cara klik dua kali pada variabel terikat.
 - c. Dalam Prediktor, masukan variabel bebas dengan cara klik dua kali pada semua variabel bebas.
 - d. Klik option > muncul kotak dialog option.
 - e. Di bawah display, pilih variance inflation factors. (Untuk mengidentifikasi adanya multikolinier dalam model)
 - f. Pada kotak dialog option, klik ok.
 - g. Pada kotak dialog regression klik ok.

3. Analisis varian

Pengujian menggunakan analisa varian dalam statistika parametrik diantara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Varian* (ANOVA). Two Way ANOVA merupakan sub menu yang berfungsi membuat ANOVA 2 arah untuk pengamatan data yang sama. Uji ini dilakukan berdasarkan distribusi nilai F.

Hipotesis hasil uji Two Way ANOVA:

- H_0 = Rata-rata sampel perlakuan adalah identik.

$$(\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0)$$

- H_1 = Rata-rata sampel perlakuan adalah tidak identik.

$$(\tau_i \neq 0)$$

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.
- Input data dalam software Minitab 14 (Iriawan dan Astuti, 2006)
 - a. Pilih stat > ANOVA > Two-Way Anova.
 - b. Muncul kotak dialog Two-way Analysis of Variance.
 - c. Dalam Response, masukan variabel terikat dengan cara klik dua kali pada variabel terikat.
 - d. Dalam Prediktor, masukan variabel bebas dengan cara klik dua kali pada semua variabel bebas
 - e. Klik ok.

2.7.4. Generalisasi dan Kesimpulan Analisa Data

Generalisasi adalah penarikan suatu kesimpulan umum dari suatu analisa penelitian. Generalisasi yang dibuat harus berkaitan dengan teori yang mendasari penelitian yang dilakukan.

Generalisasi ini dibuat setelah interpretasi data atau penemuan yang telah dilakukan. Setelah melakukan generalisasi, selanjutnya dibuat kesimpulan-kesimpulan yang lebih khusus (terinci) dari penelitian berdasarkan generalisasi yang telah dibuat (Hasan, M. Iqbal, 2002 dalam P. Juli Ni Ketut, 2005).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Variabel Penelitian

3.1.1. Variabel Terikat

- Penurunan konsentrasi COD
- Penurunan konsentrasi N total
- Penurunan konsentrasi P total
- Pertumbuhan *duckweed* (*Lemna minor*), dengan melihat kerapatannya.

3.1.2. Variabel Bebas

- Kerapatan tumbuhan :
 - a. 70 mg/cm²
 - b. 80 mg/cm²
 - c. 90 mg/cm²

Penggunaan variasi kerapatan tumbuhan yaitu 70 mg/cm², 80 mg/cm² dan 90 mg/cm² berdasarkan analisis awal yang dilakukan pada bulan desember 2007, pada kerapatan tersebut dengan menggunakan reaktor dengan panjang 23 cm dan lebar 10 cm, Duckweed (*Lemna minor*) dapat bertahan hidup selama sepuluh hari penelitian.

- Waktu detensi :
 - a. Hari ke 1
 - b. Hari ke 5
 - c. Hari ke 10

Penggunaan variasi waktu detensi yaitu hari ke 1, hari ke 5 dan hari ke 10 berdasarkan siklus hidup Duckweed (*Lemna minor*) dimana waktu hidup Duckweed (*Lemna minor*) selama ± 14 hari (Eka, 1998)

- Kedalaman reaktor :
 - a. 2 cm
 - b. 4 cm
 - c. 6 cm

Penggunaan variasi tinggi muka air yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Taufik Ajie Raharjo (1998).

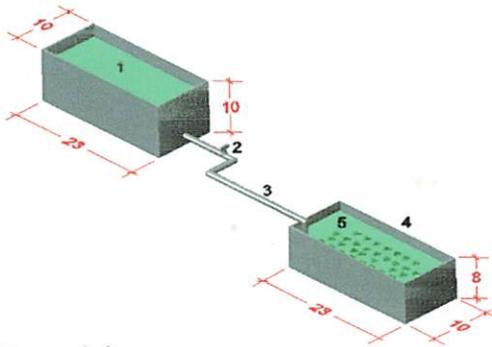
3.2. Alat-Alat dan Bahan

3.2.1. Alat-Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Reaktor

Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa reaktor yang terbuat dari bahan kaca berbentuk persegi panjang dengan panjang 23 cm, lebar 10 cm dan tinggi 4 cm, 6 cm, 8 cm (d disesuaikan dengan variasi tinggi muka air).



- Kertas lakmus
- Termometer.



- Neraca digital.



3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

- Limbah cair industri tahu.
- Aquadest.
- Duckweed (*Lemna minor*)

Tumbuhan yang akan digunakan pada waktu penelitian dipilih dengan :

- Ukuran daun (frond) : Panjang = 2-4 mm.
Lebar = 2 mm.
- Panjang akar = 10-25 mm.
- Warna frond = hijau

3.3. Penelitian Pendahuluan

3.3.1. Analisa Awal Media Tanam

Analisa yang dilakukan sesuai dengan standard prosedur analisa yang terdapat pada Standard Methods (APHA, 1998) dan Metode Penelitian Air (Alaerts dan Santika, 1987), yaitu :

- Analisa konsentrasi N total dengan metode APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998 (Macro kjedahl) dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer.
- Analisa konsentrasi COD dengan menggunakan metode APHA. Ed. 20. 5210 B, 1998 dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer.
- Analisa konsentrasi P total dengan metode SNI 19-2483-1991(Ascorbat) dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer (Anonim, 1991)
- Analisa pH dengan elektrometri.
- Analisa temperatur dengan termometer.

3.3.2. Aklimatisasi

Sebelum diaplikasikan untuk mereduksi kandungan senyawa organik, terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi pada *duckweed* (*Lemna minor*). Tujuan proses aklimatisasi ini adalah supaya *duckweed* (*Lemna minor*) dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang mengandung senyawa organik yang

nantinya akan menjadi tempat hidupnya. Proses aklimatisasi adalah sebagai berikut :

1. Persiapan media tanam *Duckweed (Lemna minor)* yaitu dengan volume 10 liter air limbah industri tahu, dan air pengencer.
2. Pemilihan tanaman *Duckweed (Lemna minor)* yang sehat dan segar.
3. Dilakukan variasi air limbah dan air pengencer sebesar 50% (5 liter aquadest dan 5 liter air limbah), 30% (3 liter aquadest dan 7 liter air limbah), dan 10% (1 liter aquadest dan 9 liter air limbah).
4. Pengamatan dilakukan selama 4 hari.
5. Setelah hari ke empat dilakukan pemilihan *Duckweed (Lemna minor)* yang sehat dan segar untuk kemudian tanaman diaplikasikan.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Selama penelitian berlangsung aliran influen akan mengalir terus menerus pada reaktor tanpa output, pengambilan sampel dilakukan melalui titik pengambilan yang sesuai dengan variasi waktu pengambilan. Penelitian ini akan dilakukan selama 10 hari penelitian meliputi variasi kerapatan tumbuhan dan variasi waktu detensi. Analisa parameter yang akan diteliti adalah pengukuran pH, suhu, konsentrasi COD, N total dan P total, dimana pengukuran tersebut dilakukan pada hari ke 1, 5, dan 10.

3.4.1. Penelitian Dengan Variasi Kerapatan Tanaman Uji

Penelitian dengan kerapatan tanaman dimaksudkan untuk mengetahui kerapatan optimum tanaman untuk menurunkan kandungan konsentrasi senyawa organik (COD, N total dan P total) pada air limbah industri tahu. Prosedur untuk penelitian ini adalah :

1. Dipersiapkan 27 buah reaktor dengan perlakuan yang sama dengan variasi tinggi yaitu : 2 cm, 4 cm, dan 6 cm. Menggunakan media tanam air limbah industri tahu yang mengandung senyawa organik.
2. *Duckweed (Lemna minor)* yang telah diaklimatisasikan, ditiriskan dan ditimbang sesuai dengan variasi kerapatan duckweed yaitu : 70 mg/cm²,

80 mg/cm², dan 90 mg/cm². Pemilihan ini disesuaikan dengan hasil penelitian pendahuluan. Dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* supaya tidak saling tumpah tindih kemudian *Duckweed (Lemna minor)* diaplikasikan pada media tanam yang telah tersedia yang sebelumnya dicuci terlebih dahulu.

3. Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap tanaman uji, perubahan pH, pertumbuhan tanaman, konsentrasi COD, N total dan P total pada hari ke 1, 5, dan 10. Sampel yang telah diambil langsung dianalisa sehingga tidak memerlukan pengawetan sampel.

3.4.2. Pengukuran COD

COD ditentukan dengan metode kimia dengan menggunakan pengoksidasi K₂CrO₇. dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer.

3.4.3. Pengukuran N total

Total nitrogen ditentukan dengan analisis khusus, yaitu pemanasan dengan temperatur tinggi. Analisa ini meliputi nitrogen dan nitrogen organik dengan cara macro kjeldhal. Dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer.

3.4.4. Pengukuran P total

Fosfat didestruksi secara kimia dalam satu tahap, yakni dengan mendidihkan sampel dengan ditambah asam ascorbat. Analisa ini meliputi pospat dan pospat organik. Dan alat yang digunakan adalah spektrofotometer.

3.4.5. Pengukuran pH

pH diukur dengan menggunakan kertas pH.

3.4.6. Pengukuran Temperatur

Temperatur diukur dengan menggunakan termometer.

3.4.7. Pengukuran Pertumbuhan Tanaman

Pengukuran pertumbuhan tanaman dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan keadaan awal dan akhir pada masing-masing tanaman pada reaktor. Pada tanaman *Duckweed (Lemna minor)* analisa pertumbuhan tanaman dilihat berdasarkan kerapatan. Jumlah kerapatan tumbuhan ditentukan dengan cara melakukan penimbangan berat basah tumbuhan terlebih dahulu sebelum

dilakukan penanaman pada reaktor, nilai penimbangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan nilai kerapatan. Setelah berada di media tanam selama waktu yang ditentukan berat basah duckweed dihitung kembali dan akan didapatkan nilai kerapatannya. Tumbuhan yang akan ditimbang diangin-anginkan selama beberapa menit hingga air pada tumbuhan berkurang. (Mayang, 2006).

Pengukuran pertumbuhan tanaman menggunakan cara sebagai berikut :

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

Dimana :

- RGR = Relative growth rate
- Kepadatan n = kepadatan tumbuhan pada hari ke-n
= Berat basah tumbuhan sesudah ditanam pada media limbah tahu.
- n = hari ke (1, 5, 10)
- Kepadatan 0 = kepadatan tumbuhan pada hari ke-0
= Berat basah tumbuhan sebelum ditanam pada media limbah tahu

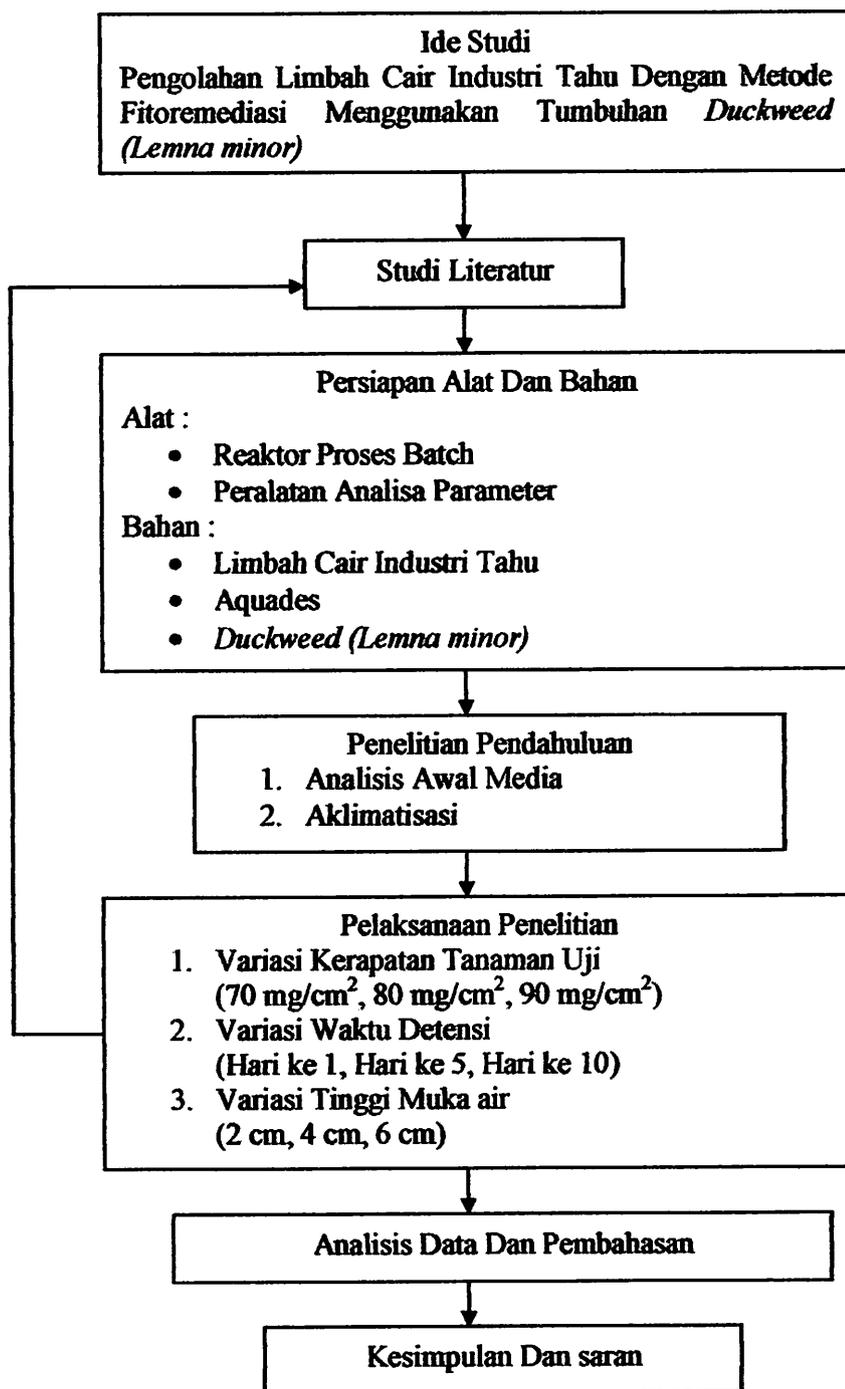
Cara perhitungan nilai RGR (Relative Growth Rate) diatas hanya berlaku pada tumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* saja dan tidak berlaku pada tumbuhan lain seperti eceng gondok dan kayu apu.

3.5. Analisa Data dan Pembahasan

Dari hasil percobaan yang didapat, dilakukan analisis data dengan metode analisa deskriptif, rancangan faktorial, uji korelasi dan regresi. Analisis deskriptif ditunjukkan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan gejala dan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisis varian (Anova) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak secara statistik antara dua variasi yang dilakukan (variasi kerapatan *Duckweed (Lemna minor)* waktu detensi dan tinggi muka air) terhadap penurunan COD, N total dan P total pada air limbah tahu. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel kerapatan *Duckweed (Lemna minor)* waktu detensi dan tinggi muka air terhadap

penurunan COD, N total dan P total. Analisis regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel kerapatan *Duckweed (Lemna minor)* waktu detensi dan tinggi muka air dapat memprediksi penurunan COD, N total dan P total.

3.6. Kerangka Penelitian



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Limbah yang diambil, adalah limbah tahu yang berasal dari kecamatan Mulyorejo Malang. Adapun hasil analisa karakteristik limbah tersebut seperti yang terdapat pada table 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

No	Parameter	Satuan	Hasil
1	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	25,2
2	pH	-	4,0
3	COD	Mg/L	646,8
4	N total	Mg/l	16,570
5	P total	Mg/l	14,599

Sumber : Hasil penelitian, 2007

Dari hasil analisa di atas menunjukkan bahwa kualitas limbah tersebut tidak memenuhi standar kualitas limbah. Hal ini dapat dilihat dari parameter COD pada limbah sebesar 646,8 mg/L, melebihi batas maksimal kandungan COD berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan NO. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 300 mg/L. Untuk parameter N-total pada limbah sebesar 16,570 mg/L, melebihi batas maksimal kandungan N-total berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan NO. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 10 mg/L. sedangkan P-total pada limbah sebesar 14,599 mg/L, melebihi batas maksimal kandungan P-total berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan NO.907/MENKES.VII/2002 yaitu sebesar 1 mg/L.

4.2. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode fitoremediasi

Menggunakan Tumbuhan Duckweed (*Lemna minor*)

Hasil penelitian penurunan konsentrasi COD, N total dan P total dengan menggunakan tumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* dengan variasi kerapatan tumbuhan 70 mg/cm², 80 mg/cm², dan 90 mg/cm², variasi tinggi muka air 2 cm, 4 cm dan 6 cm dan variasi waktu detensi selama 1 hari, 5 hari dan 10 hari dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2. Nilai konsentrasi akhir dan persen removal penurunan N total

Hari ke	Variasi kerapatan (mg/cm ²)	Konsentrasi Awal (mg/L)	H = 2 cm		H = 4 cm		H = 6 cm	
			Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R
1	70	16,57	13,982	15,619	10,116	38,950	8,176	50,658
	80	16,57	10,334	37,634	9,624	41,919	6,462	61,002
	90	16,57	13,647	17,640	11,645	29,722	9,883	40,356
	kontrol	16,57	15,854	4,321	15,467	6,657	15,096	8,896
5	70	16,57	12,733	23,156	9,152	44,768	6,518	60,664
	80	16,57	8,121	50,990	6,423	61,237	3,062	81,521
	90	16,57	11,598	30,006	6,895	58,389	5,746	65,323
	kontrol	16,57	14,975	9,626	14,281	13,814	13,354	19,409
10	70	16,57	13,022	21,412	10,075	39,197	7,831	52,740
	80	16,57	9,458	42,921	7,513	54,659	5,385	67,502
	90	16,57	10,941	33,971	7,226	56,391	5,668	65,794
	kontrol	16,57	15,114	8,787	14,893	10,121	13,973	15,673

Sumber: Hasil penelitian 2008

Tabel 4.3. Nilai konsentrasi akhir dan persen removel penurunan P total

Hari ke	Variasi Kerapatan (mg/cm ²)	Konsentrasi Awal (mg/L)	H = 2 cm		H = 4 cm		H = 6 cm	
			Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R
1	70	14,599	4,513	69,087	3,385	76,813	2,477	83,033
	80	14,599	2,875	80,307	2,077	85,773	1,749	88,020
	90	14,599	2,927	79,951	2,595	82,225	2,266	84,478
	Kontrol	14,599	10,345	29,139	8,248	43,503	7,751	46,907
5	70	14,599	2,603	82,170	2,424	83,396	1,622	88,890
	80	14,599	2,438	83,300	1,493	89,773	1,405	90,376
	90	14,599	2,196	84,958	1,903	86,965	1,697	88,376
	Kontrol	14,599	6,515	55,374	5,805	60,237	5,319	63,566
10	70	14,599	3,672	74,848	3,021	79,307	2,593	82,239
	80	14,599	2,614	82,095	1,955	86,609	1,633	88,814
	90	14,599	2,845	80,512	2,387	83,650	1,866	87,218
	Kontrol	14,599	8,996	38,379	7,349	49,661	6,823	53,264

Sumber: Hasil Penelitian, 2008

Tabel 4.4. Nilai konsentrasi akhir dan persen removel penurunan COD

Hari ke	Variasi Kerapatan (mg/cm ²)	Konsentrasi Awal (mg/L)	H = 2 cm		H = 4 cm		H = 6 cm	
			Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R	Konsentrasi Akhir	%R
1	70	646,8	471.812	99,302	397.543	99,477	343.254	99,617
	80	646,8	291.033	99,556	240.322	99,679	231.655	99,730
	90	646,8	308.521	99,547	271.765	99,599	261.634	99,650
	Kontrol	646,8	522.335	98,401	494.465	98,725	456.162	98,802
5	70	646,8	257.612	99,598	199.823	99,625	162.323	99,749
	80	646,8	173.532	99,623	134.312	99,769	119.676	99,783
	90	646,8	234.415	99,660	198.965	99,706	136.212	99,738
	Kontrol	646,8	499.713	98,993	418.132	99,103	373.734	99,178
10	70	646,8	260.712	99,432	239.914	99,533	208.165	99,599
	80	646,8	214.654	99,596	189.554	99,698	166.812	99,748
	90	646,8	249.923	99,560	212.541	99,631	173.154	99,712
	Kontrol	646,8	505.367	98,609	477.223	98,864	414.434	98,945

Sumber : Hasil Penelitian,2008

Amalisa pertumbuhan tanaman, dilakukan dengan menghitung nilai *Relative Growth Rate* (RGR). Untuk memperoleh nilai RGR menggunakan persamaan 4-1 berikut ini :

$$RGR = \frac{\ln \text{kepadatan } n - \ln \text{kepadatan } 0}{\text{waktu}} \dots\dots\dots(4-1)$$

Contoh perhitungan untuk kepadatan awal 70mg/cm². Pada hari ke lima kepadatan menjadi 491,52 mg/cm². Berdasarkan persamaan 4-1 maka diperoleh nilai RGR sebagai berikut :

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

$$RGR = \frac{6,20 - 4,248}{5} = 0,4$$

Dengan cara yang sama, untuk berbagai variasi diperoleh nilai RGR seperti pada table 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5. Nilai RGR (Relative Growth Rate)

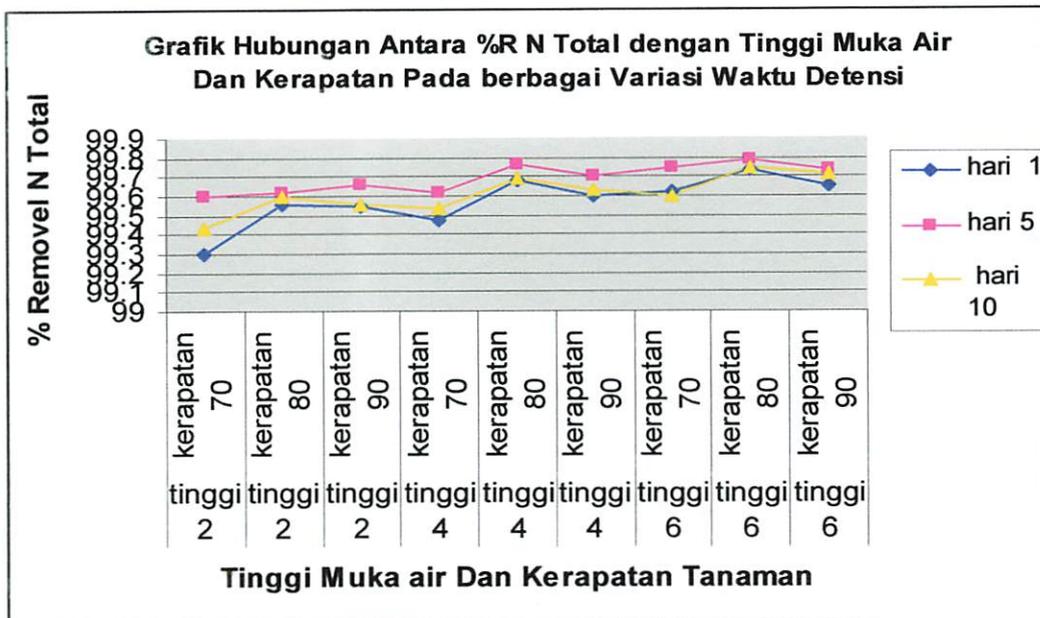
Hari ke	Variasi kerapatan (mg/cm ²)	RGR
1	70	0,01
	80	0,01
	90	0,02
5	70	0,4
	80	0,41
	90	0,39
10	70	0,24
	80	0,245
	90	0,249

Sumber: Hasil Penelitian,2008

4.3. Analisa Penurunan konsentrasi N Total

4.3.1 Analisa Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi N Total pada setiap perlakuan variasi kerapatan tumbuhan dan ketinggian muka air untuk hari pertama, hari ke lima dan hari ke sepuluh masing-masing berturut-turut dapat di lihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 Hubungan Antara Persen Removal N Total Dengan Tinggi Muka Air Dan Kerapatan Tumbuhan Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi

4.3.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi terhadap %Removel, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA dua faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga dapat dilakukan pengamatan kesamaan perilaku antar peubah acak. (Soleh, 2005). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.6. berikut ini :

Tabel 4.6. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisa %Removel N total

Test of Homogeneity of Variances

Persen Removel Ntotal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.270	2	24	.765

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- H_0 = Ke-12 varians perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

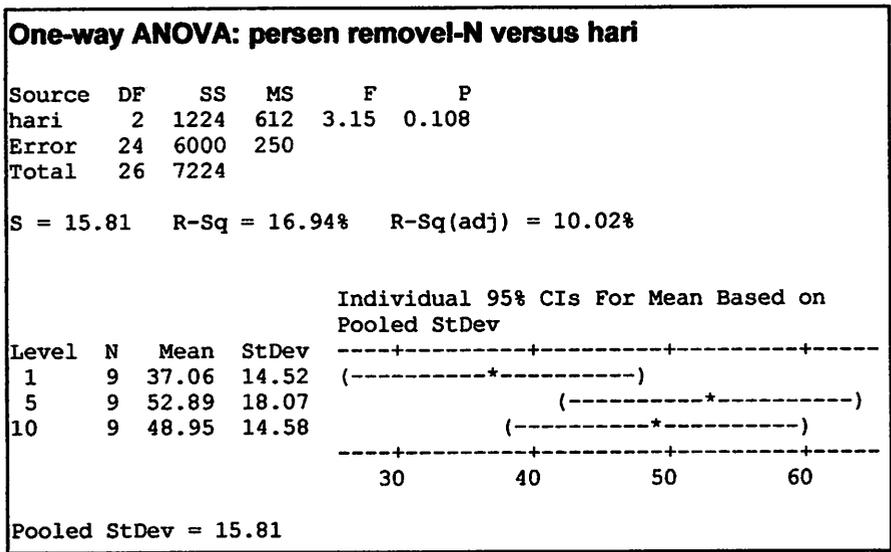
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Keputusan:

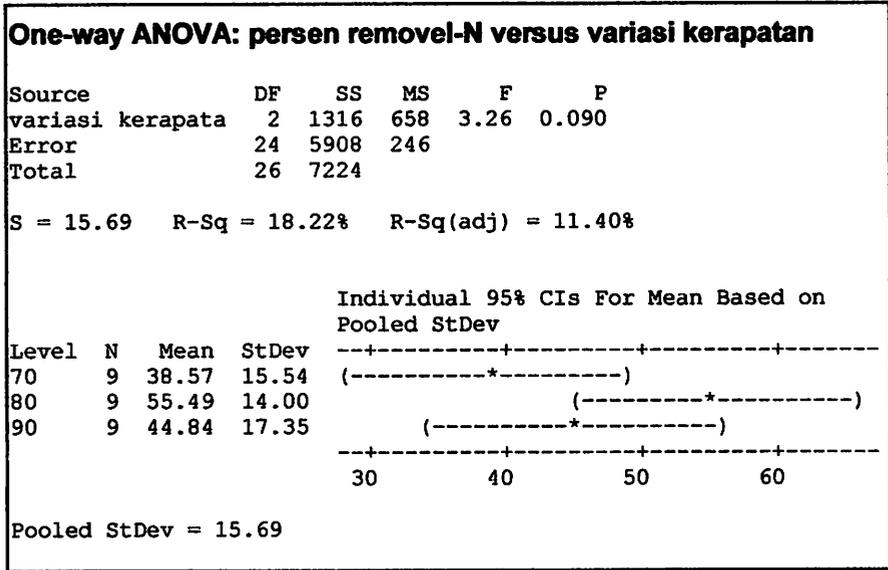
Pada tabel 4.6 nilai probabilitas untuk %Removel adalah sebesar 0,765. Oleh karena probabilitas %Removel $> 0,05$, maka H_0 diterima atau ke-12 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan dua kali yang dilakukan untuk mengukur %Removel pada masing-masing perlakuan dan dilakukan rata-rata, maka nilai rata-rata tersebut dapat dianggap mewakili dari %Removel masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-12 varians perlakuan terbukti identik, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-12 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-12 perlakuan sama atau identik, maka variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai %Removel. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7-4.9.

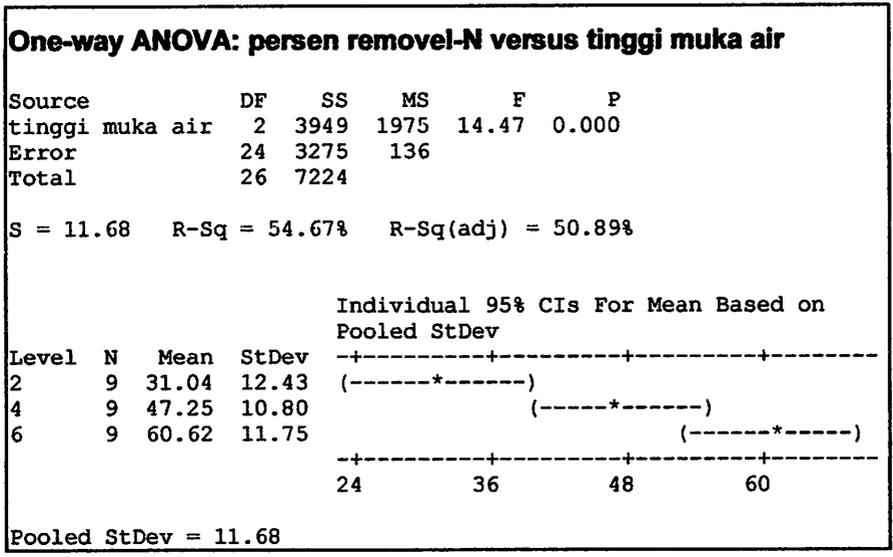
Tabel 4.7. Uji anova %Removel N-total versus variasi waktu detensi



Tabel 4.8. Uji anova %Removel N-total versus variasi kerapatan tumbuhan



Tabel 4.9. Uji anova %Removel N-total versus variasi tinggi muka air



Hipotesis hasil uji ANOVA:

- H_0 = Ke-12 perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 perlakuan adalah tidak 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* untuk peubah bebas adalah 3,15 untuk variasi waktu detensi, 3,26 untuk variasi kerapatan tumbuhan, 14,47 untuk variasi tinggi muka air sedangkan F tabel dengan α toleransi 5% atau 0,05 adalah 3,03. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yaitu ke-12 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air.

4.3.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara %Removel dengan

kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Uji korelasi

Correlations: persen remov; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air			
	persen remov	hari	variasi kera
hari	0,278 0,036		
variasi kera	0,256 0,043	0,000 1,000	
tinggi muka	0,738 0,000	-0,000 1,000	0,000 1,000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value			

Tabel 4.10. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu:

- o Besar hubungan antara waktu detensi dengan %Removel adalah 0,278. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat lemah karena berada di antara selang 0,2 dengan 0,4 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.10. memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,036. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Oleh karena itu, kesimpulan yang

diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu detensi dan %Removel, dimana 27,8% peningkatan %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi.

- Besar hubungan antara kerapatan tumbuhan dengan %Removel adalah 0,256. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel lemah karena berada di antara 0,2 dengan 0,4 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.10 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,043. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel kerapatan tumbuhan dan %Removel, dimana 25,6% penurunan %Removel dipengaruhi oleh kerapatan tumbuhan.

- Besar hubungan antara tinggi muka air dengan %Removel adalah 0,738. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena berada di antara 0,7 dengan 0,9 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.10 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu detensi dan %Removel, dimana 73.8% penurunan %Removel dipengaruhi oleh tinggi muka air.

4.3.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran parameter model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Uji Regresi

Regression Analysis: persen removal versus hari; variasi kerapatan; ...					
The regression equation is					
persen removal = - 14,9 + 1,24 hari + 0,313 variasi kerapatan + 7,39 tinggi muka air					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-14,95	20,78	-0,72	0,479	
hari	1,2356	0,5505	2,24	0,035	1,0
variasi kerapatan	0,3135	0,2482	1,26	0,219	1,0
tinggi muka air	7,395	1,241	5,96	0,000	1,0
S = 10,5317 R-Sq = 64,7% R-Sq(adj) = 60,1%					

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antar variabel bebas. Jika antarvariabel bebas berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila $VIF > 1$, berarti ada korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (Nur I.

dan Septin P.A., 2006). Pada tabel 4.11 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0 sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

2. Persamaan Regresi

$$Y = -14,9 + 1,24X_1 + 0,313X_2 + 7,39X_3 \dots\dots\dots(4-6)$$

Dimana:

- Y = %Removel (%)
- X₁ = variasi waktu detensi (hari)
- X₂ = variasi kerapatan tumbuhan (mg/cm²)
- X₃ = variasi tinggi muka air (cm)

Koefisien regresi sebesar 1,24 untuk variabel waktu detensi (X₁) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 hari tekanan akan meningkatkan %Removel sebesar 1,24 kali dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Untuk koefisien regresi 0,313 untuk variabel kerapatan tumbuhan (X₂) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 mg/cm² kerapatan tumbuhan akan meningkatkan %Removel sebesar 0,313 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi sebesar 7,39 untuk variabel tinggi muka air (X₃) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 cm muka air akan meningkatkan %Removel sebesar 7,39 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

H₀ = koefisien regresi tidak signifikan

H₁ = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

- a. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H₀ diterima dan H₁ ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Nilai t tabel adalah 1,714, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.11 adalah 2,24 (variasi waktu detensi), 1,26 (variasi kerapatan) dan 5,96 (variasi tinggi muka air). Nilai t hitung untuk variasi waktu detensi, kerapatan

tumbuhan dan tinggi muka air > dari t tabel, maka koefisien regresi untuk variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air signifikan.

b. Berdasarkan probabilitas

i. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.

ii. Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.11) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan %Removel.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 64,7%, hal ini berarti 64,7%, peningkatan nilai persen rejeksi dapat dijelaskan oleh variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air. Sedangkan sisanya 35,3% dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

4. Uji F untuk uji kelinieran model regresi

Tabel 4.12. Hasil ANOVA Untuk Analisa Regresi Persen %Removel N Total

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	4672,8	1557,6	14,04	0,000
Residual Error	23	2551,1	110,9		
Total	26	7223,8			

Source	DF	Seq SS
hari	1	558,8
variasi kerapatan	1	176,9
tinggi muka air	1	3937,1

Hipotesis:

$H_0 = Y$ tidak memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

$H_1 = Y$ memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

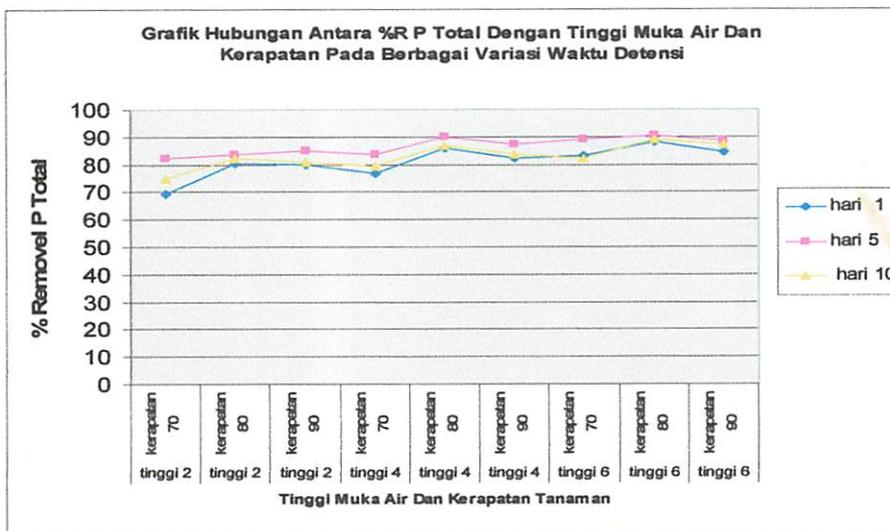
Pengambilan keputusan berdasarkan nilai F. Dari uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung 14,04. Dari tabel distribusi F didapatkan nilai F tabel 3,03. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau nilai persen removel N total dengan waktu

detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai persen removal N total.

4.4. Analisa Penurunan konsentrasi P Total

4.4.1 Analisa Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi P Total pada setiap perlakuan variasi kerapatan tumbuhan dan ketinggian muka air untuk hari pertama, hari ke lima dan hari ke sepuluh masing-masing berturut-turut dapat di lihat pada gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.2 Hubungan Antara Persen Removal P Total Dengan Tinggi Muka air Dan kerapatan Tumbuhan Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi

4.4.2 Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi terhadap %Removel, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA dua faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga

dapat dilakukan pengamatan kesamaan perilaku antar peubah acak. (Soleh, 2005).

Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.13. berikut ini:

Tabel 4.13. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisa %Removel P total

Test of Homogeneity of Variances

persen_remove_ptotal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.427	2	24	.657

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- H_0 = Ke-12 varians perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

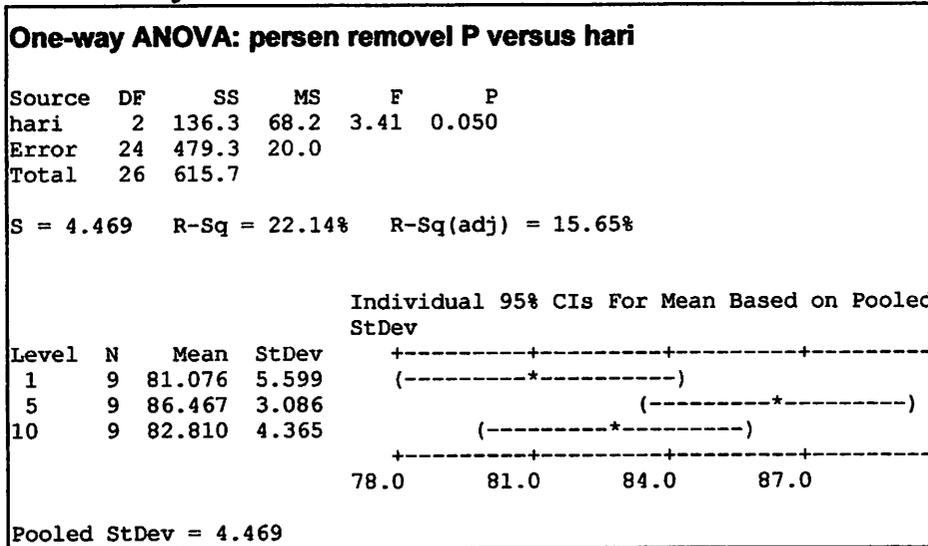
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Keputusan:

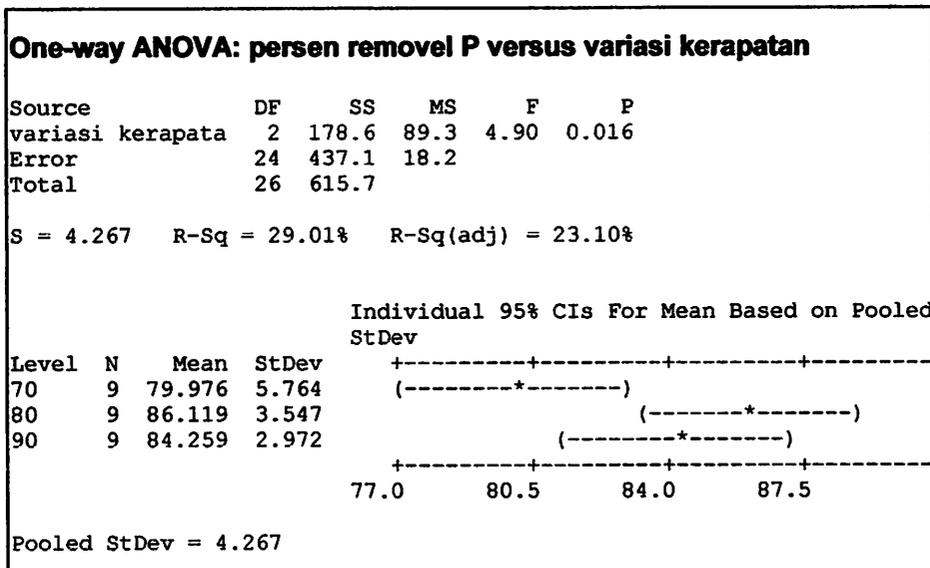
Pada tabel 4.13 nilai probabilitas untuk %Removel adalah sebesar 0,657. Oleh karena probabilitas %Removel $> 0,05$, maka H_0 diterima atau ke-12 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan dua kali yang dilakukan untuk mengukur %Removel pada masing-masing perlakuan dan dilakukan rata-rata, maka nilai rata-rata tersebut dapat dianggap mewakili dari %Removel masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-12 varians perlakuan terbukti identik, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-12 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-12 perlakuan sama atau identik, maka variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai %Removel. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.14-16.

Tabel 4.14. Uji anova %Removel P-total versus variasi waktu detensi



Tabel 4.15. Uji anova %Removel P-total versus variasi kerapatan tanaman



Tabel 4.16. Uji anova %Removel P-total versus variasi tinggi muka air

One-way ANOVA: persen removel P versus tinggi muka air					
Source	DF	SS	MS	F	P
tinggi muka air	2	231.1	115.5	7.21	0.004
Error	24	384.6	16.0		
Total	26	615.7			

S = 4.003 R-Sq = 37.53% R-Sq(adj) = 32.33%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
2	9	79.692	4.870	77.0	82.4
4	9	83.835	4.018	80.5	87.2
6	9	86.827	2.867	84.0	89.7

Pooled StDev = 4.003

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- H_0 = Ke-12 perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 perlakuan adalah tidak 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* untuk peubah bebas adalah 3,41 untuk variasi waktu detensi, 4,90 untuk variasi kerapatan tumbuhan, 7,21 untuk variasi tinggi muka air sedangkan F tabel dengan α toleransi 5% atau 0,05 adalah 3,03. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yaitu ke-12 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air.

4.4.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara %Removel dengan

kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Uji korelasi

Correlations: persen removel, Hari, variasi kerapatan, tinggi muka air			
	persen remov	Hari	variasi kera
Hari	0.219 0.553		
variasi kera	0.366 0.060	0.000 1.000	
tinggi muka	0.610 0.001	-0.000 1.000	0.000 1.000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value			

Tabel 4.17. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu:

- o Besar hubungan antara waktu detensi dengan %Removel adalah 0,219. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat lemah karena berada di antara selang 0,2 dengan 0,4 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.17. memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,049. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Oleh karena itu, kesimpulan yang

diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu detensi dan %Removel, dimana 21,9% peningkatan %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi.

- Besar hubungan antara kerapatan tumbuhan dengan %Removel adalah 0,366. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel lemah karena berada di antara 0,2 dengan 0,4 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.17 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,045. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel kerapatan tumbuhan dan %Removel, dimana 36,6% penurunan %Removel dipengaruhi oleh kerapatan tumbuhan.

- Besar hubungan antara tinggi muka air dengan %Removel adalah 0,610. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena berada di antara 0,7 dengan 0,9 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.17 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,001. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu detensi dan %Removel, dimana 61,0% penurunan %Removel dipengaruhi oleh tinggi muka air.

4.4.5. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran parameter model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18. Uji Regresi

Regression Analysis: persen removel versus Hari, variasi kerapatan, ...					
The regression equation is persen removel = 58.4 + 0.155 Hari + 0.214 variasi kerapatan + 1.78 tinggi muka air					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	58.357	7.069	8.26	0.000	
Hari	0.1548	0.1873	0.83	0.047	1.0
variasi kerapatan	0.21417	0.08445	2.54	0.018	1.0
tinggi muka air	1.7838	0.4222	4.22	0.000	1.0
S = 3.58278 R-Sq = 52.0% R-Sq(adj) = 45.8%					

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antar variabel bebas. Jika antarvariabel bebas berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila $VIF > 1$, berarti ada

korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (*Nur I. dan Septin P.A., 2006*). Pada tabel 4.18 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0 sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

2. Persamaan Regresi

$$Y = 58,4 + 0,155X_1 + 0,214X_2 + 1,78X_3 \dots\dots\dots(4-7)$$

Dimana:

- Y = %Removel (%)
- X₁ = variasi waktu detensi (hari)
- X₂ = variasi kerapatan tumbuhan (mg/cm²)
- X₃ = variasi tinggi muka air (cm)

Koefisien regresi sebesar 0,155 untuk variabel waktu detensi (X₁) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 hari tekanan akan meningkatkan %Removel sebesar 0,155 kali dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Untuk koefisien regresi 0,214 untuk variabel kerapatan tumbuhan (X₂) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 mg/cm² kerapatan tumbuhan akan meningkatkan %Removel sebesar 0,214 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi sebesar 1,78 untuk variabel tinggi muka air (X₃) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 cm muka air akan meningkatkan %Removel sebesar 1,78 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

- H₀ = koefisien regresi tidak signifikan
- H₁ = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

- c. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H₀ diterima dan H₁ ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Nilai t tabel adalah 1,714, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.18 adalah 0,83 (variasi waktu detensi), 2,54 (variasi kerapatan) dan 4,22 (variasi

tinggi muka air). Nilai t hitung untuk variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air > dari t tabel, maka koefisien regresi untuk variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air signifikan.

d. Berdasarkan probabilitas

- i. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
- ii. Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.18) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan %Removel.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 52%, hal ini berarti 52,0%, peningkatan nilai persen rejeksi dapat dijelaskan oleh variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air. Sedangkan sisanya 48% dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

4. Uji F untuk uji kelinieran model regresi

Tabel 4.19 Hasil ANOVA Untuk Analisa Regresi Persen %Removel P-Total

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	320.43	106.81	8.32	0.001
Residual Error	23	295.23	12.84		
Total	26	615.66			

Source	DF	Seq SS
Hari	1	8.77
variasi kerapatan	1	82.57
tinggi muka air	1	229.09

Hipotesis:

$H_0 = Y$ tidak memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

$H_1 = Y$ memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

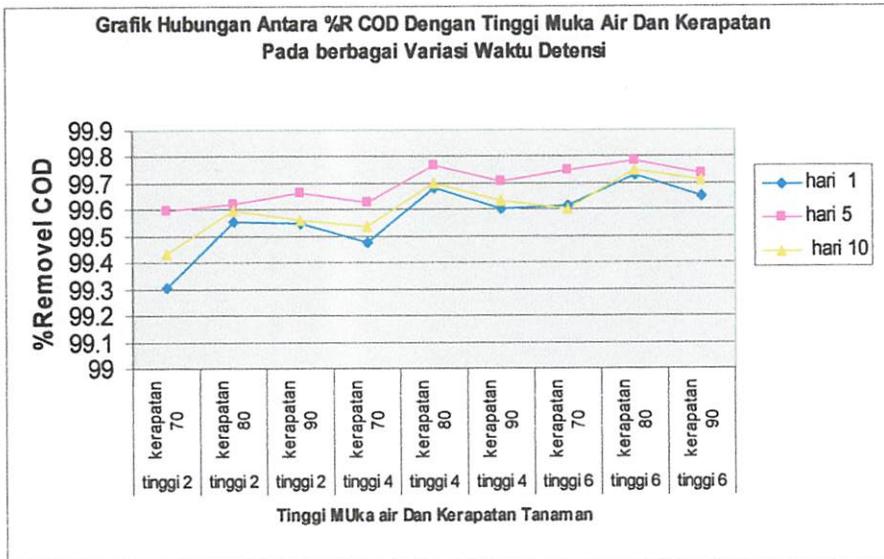
Pengambilan keputusan berdasarkan nilai F. Dari uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung 8,32. Dari tabel distribusi F didapatkan nilai F tabel 3,03. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas)

mempunyai hubungan linier atau nilai persen removal P total dengan waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000, jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai persen removal P total.

4.5. Analisa Penurunan konsentrasi COD

4.5.1 Analisa Deskriptif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD pada setiap perlakuan variasi kerapatan tumbuhan dan ketinggian muka air untuk hari pertama, hari ke lima dan hari ke sepuluh masing-masing berturut-turut dapat di lihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 Hubungan Antara Persen Removal COD Dengan Tinggi Muka air Dan Kerapatan Tumbuhan Pada Berbagai Variasi Waktu Detensi

4.5.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi terhadap %Remove, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA dua faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga

dapat dilakukan pengamatan kesamaan perilaku antar peubah acak. (Soleh, 2005). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.20. berikut ini.

Tabel 4.20. Hasil Uji Kesamaan Variansi Analisa %Removel COD

Test of Homogeneity of Variances

persen_remove COD

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.427	2	24	.657

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- H_0 = Ke-12 varians perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Pada tabel 4.20 nilai probabilitas untuk %R adalah sebesar 0,657. Oleh karena probabilitas %Removel > 0,05, maka H_0 diterima atau ke-12 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan dua kali yang dilakukan untuk mengukur %Removel pada masing-masing perlakuan dan dilakukan rata-rata, maka nilai rata-rata tersebut dapat dianggap mewakili dari %Removel masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-12 varians perlakuan terbukti identik, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-12 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-12 perlakuan sama atau identik, maka variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai %Removel. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.21-23.

Tabel 4.21 Uji anova %Removel COD versus variasi waktu detensi

One-way ANOVA: persen removal–COD versus hari

Source	DF	SS	MS	F	P
hari	2	0.0693	0.0347	3.40	0.050
Error	24	0.2449	0.0102		
Total	26	0.3142			

S = 0.1010 R-Sq = 22.06% R-Sq(adj) = 15.56%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
1	9	99.573	0.127	99.540	99.610
5	9	99.695	0.070	99.610	99.680
10	9	99.612	0.099	99.680	99.750

Pooled StDev = 0.101

Tabel 4.22 Uji anova %Removel COD versus variasi kerapatan tumbuhan

One-way ANOVA: persen removal–COD versus variasi kerapatan

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi kerapata	2	0.09129	0.04564	4.91	0.016
Error	24	0.22291	0.00929		
Total	26	0.31420			

S = 0.09637 R-Sq = 29.05% R-Sq(adj) = 23.14%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
70	9	99.5480	0.1301	99.540	99.610
80	9	99.6869	0.0800	99.610	99.680
90	9	99.6448	0.0673	99.680	99.750

Pooled StDev = 0.0964

Tabel 4.23 Uji anova %Removel COD versus variasi tinggi muka air

One-way ANOVA: persen removel–COD versus tinggi muka air					
Source	DF	SS	MS	F	P
tinggi muka air	2	0.11814	0.05907	7.23	0.003
Error	24	0.19606	0.00817		
Total	26	0.31420			

S = 0.09038 R-Sq = 37.60% R-Sq(adj) = 32.40%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
2	9	99.5416	0.1100
4	9	99.6352	0.0906
6	9	99.7029	0.0648

Pooled StDev = 0.0904

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- H_0 = Ke-12 perlakuan adalah identik.
- H_1 = Ke-12 perlakuan adalah tidak 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* untuk peubah bebas adalah 3,40 untuk variasi waktu detensi, 4,91 untuk variasi kerapatan tumbuhan, 7,23 untuk variasi waktu detensi sedangkan F tabel dengan α toleransi 5% atau 0,05 adalah 3,03. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yaitu ke-12 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air.

4.5.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, dalam hal ini hubungan antara %Removel dengan

kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 Uji korelasi

Correlations: persen remove; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air			
	persen remov	hari	variasi kera
hari	0,493 0,009		
variasi kera	0,488 0,015	0,000 1,000	
tinggi muka	0,611 0,001	-0,000 1,000	0,000 1,000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value			
Correlations: Person Remove, hari, variasi kerapatan, tinggi muka air			

Tabel 4.24. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasinya yaitu:

- o Besar hubungan antara waktu detensi dengan %Remove adalah 0,493. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sedang karena berada di antara selang 0,4 dengan 0,7 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Remove yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.24. memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,009. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu

detensi dan %Removel, dimana 49,3% peningkatan %Removel dipengaruhi oleh waktu detensi.

- o Besar hubungan antara kerapatan tumbuhan dengan %Removel adalah 0,488. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sedang karena berada di antara 0,4 dengan 0,7 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

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

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.24 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,015. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H_0 ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel kerapatan tumbuhan dan %Removel, dimana 48,8% penurunan %Removel dipengaruhi oleh kerapatan tumbuhan.

- o Besar hubungan antara tinggi muka air dengan %Removel adalah 0,611. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena berada di antara 0,7 dengan 0,9 (Soleh, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka %Removel yang dihasilkan akan meningkat. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- H_1 = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas > 0,05, H₀ diterima.
- Jika probabilitas < 0,05, H₀ ditolak.

Keputusan :

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.24 memperlihatkan bahwa nilai P adalah 0,001. Karena nilai P lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$), maka H₀ ditolak dan menerima hipotesis alternatif (H₁) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel. Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah ada korelasi antara variabel waktu detensi dan %Removel, dimana 73.8% penurunan %Removel dipengaruhi oleh tinggi muka air.

4.5.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifinkasi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran paramater model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.25

Tabel 4.25. Uji Regresi

Regression Analysis: Person Removal versus hari, variasi kerapatan, ...						
The regression equation is						
persen removal = 9,8 + 1,61 hari + 0,424 variasi kerapatan + 2,83 tinggi muka air						
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF	
Constant	9,78	18,64	0,52	0,004	1,0	
hari	1,6093	0,4939	3,26	0,003	1,0	
variasi kerapatan	0,4243	0,2227	1,91	0,049	1,0	
tinggi muka air	2,832	1,113	2,54	0,018	1,0	
S = 9,44806 R-Sq = 57,4% R-Sq(adj) = 50,5%						
The regression equation is						
Person Removal = 99.1 + 0.00349 hari + 0.00484 variasi kerapatan						

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antar variabel bebas. Jika antarvariabel bebas berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila VIF > 1, berarti ada

korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (*Nur I. dan Septin P.A., 2006*). Pada tabel 4.25 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel kerapatan tumbuhan, tinggi muka air dan waktu detensi berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0 sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

2. Persamaan Regresi

$$Y = 9,8 + 1,61X_1 + 0,424X_2 + 2,83X_3 \dots\dots\dots(4-8)$$

Dimana:

- Y = %Removel (%)
- X₁ = variasi waktu detensi (hari)
- X₂ = variasi kerapatan tumbuhan (mg/cm²)
- X₃ = variasi tinggi muka air (cm)

Koefisien regresi sebesar 1,61 untuk variabel waktu detensi (X₁) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 hari tekanan akan meningkatkan %Removel sebesar 1,61 kali dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Untuk koefisien regresi 0,424 untuk variabel kerapatan tumbuhan (X₂) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 mg/cm² kerapatan tumbuhan akan meningkatkan %Removel sebesar 0,424 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi sebesar 2,83 untuk variabel tinggi muka air (X₃) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 cm muka air akan meningkatkan %Removel sebesar 2,83 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

H₀ = koefisien regresi tidak signifikan

H₁ = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

- e. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H₀ diterima dan H₁ ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Nilai t tabel adalah 1,714, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.25 adalah 0.83 (variasi waktu detensi), 2.54 (variasi kerapatan) dan 4.23 (variasi

tinggi muka air). Nilai t hitung untuk variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air > dari t tabel, maka koefisien regresi untuk variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air signifikan.

f. Berdasarkan probabilitas

i. Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.

ii. Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.25) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan %Removel.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 57,4%, hal ini berarti 57,4%, peningkatan nilai persen rejeksi dapat dijelaskan oleh variasi waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air. Sedangkan sisanya 42,6% dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

4. Uji F untuk uji kelinieran model regresi

Tabel 4.26 Hasil ANOVA Untuk Analisa Regresi Persen %Removel COD

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1849,32	616,44	6,91	0,002
Residual Error	23	2053,11	89,27		
Total	26	3902,43			

Source	DF	Seq SS
hari	1	947,92
variasi kerapatan	1	324,11
tinggi muka air	1	577,29

Hipotesis:

H_0 = Y tidak memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

H_1 = Y memiliki hubungan linier dengan X_1 dan X_2

Pengambilan keputusan berdasarkan nilai F. Dari uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung 6,91. Dari tabel distribusi F didapatkan nilai F tabel 3,03. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas)

mempunyai hubungan linier atau nilai persen removel COD dengan waktu detensi, kerapatan tumbuhan dan tinggi muka air mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,002, jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai persen removel COD.

4.6. Pembahasan

4.6.1. Penurunan Konsentrasi N Total

Dari analisa yang dilakukan pada hari ke 1, 5, dan 10 dapat dilihat bahwa pada setiap tahapan terdapat perbedaan tingkat persen removel, dimana persen removel yang tertinggi sebesar 81,521 % pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² dengan ketinggian muka air 6 cm yang terjadi pada hari kelima. Sedangkan persen removel yang terendah sebesar 15,619 % pada kerapatan tanaman 70 mg/cm² dengan ketinggian muka air 2 cm yang terjadi pada hari pertama. Pada gambar 4.1 juga dapat terlihat bahwa persen removel pada berbagai variasi kerapatan tanaman dengan waktu detensi 1, 5, dan 10 menunjukkan terjadinya penurunan yaitu pada kerapatan tanaman 90 mg/cm², hal ini disebabkan oleh laju pertumbuhan yang terhambat akibat tempat perkembangan *Duckweed* (*Lemna minor*) yang sudah tidak tersedia lagi karena kepadatan yang cukup tinggi sehingga jumlah tumbuhan yang terlalu padat akan mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri, menurut Sitompul dan Guritno (1995) dalam Subrata (2007) bahwa makin rapat tumbuhan yang ada disuatu area, maka kompetisi yang terjadi untuk mendapatkan nutrient semakin besar, yang dimana akan mempengaruhi pertumbuhan itu sendiri.

Dari hasil penelitian secara umum diketahui trend penurunan paling besar terjadi pada periode waktu 0-5 hari, yaitu untuk penurunan semua jenis parameter pada semua variasi. Hal ini dimungkinkan karena nutrien yang diambil masih mencukupi, tetapi setelah 5 hari persediaan nutrien menyusut. selain itu tumbuhan yang sudah tua yang telah berkurang sekali dalam hal penyerapan (Vymazal, 1995) menyebabkan efektifitas *Duckweed* (*Lemna minor*) dalam menyerap nutrien juga berkurang (Raharjo, 1998).

Pengaruh variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan N-Total dapat dilihat dari nilai koefisien korelasinya. Pada table 4.10 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh untuk variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan N-total masing-masing berturut-turut adalah 0,256, 0,278 dan 0,738. Artinya hubungan antara variable kerapatan tanaman dan waktu detensi terhadap persen removal N-total adalah lemah, sedangkan hubungan antar variable ketinggian muka air terhadap persen removal adalah kuat, hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya *Duckweed (Lemna minor)* yang terdapat pada media tanam maka kemampuannya untuk menyerap konsentrasi N-total akan semakin besar, tetapi dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* dan tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007).

Heider et al, 1984 (Dalam Widyaningtyas, 2007) menyatakan bahwa proses penyerapan unsur-unsur kimia oleh tanaman dilakukan oleh tanaman melalui membran sel secara difusi dan osmosis. Kation dari unsur-unsur kimia tersebut terdapat di dalam molekul-molekul air lainnya. Dengan demikian jumlah ion yang berdifusi ke dalam akar tergantung pada jumlah molekul-molekul air yang diserap oleh tanaman. Akar *Duckweed (Lemna minor)* yang pendek menyebabkan *Duckweed (Lemna minor)* tidak mampu menyerap nutrisi pada daerah yang terlalu dalam. Namun melihat kuatnya hubungan antara persen removal dengan ketinggian muka air, dapat disimpulkan bahwa ketinggian reaktor yang divariasikan masih berada dalam range kedalaman optimum. Selain itu, kondisi ini juga dimungkinkan oleh peran mikroorganisme dalam mendegradasi nutrisi. Semakin lama waktu detensi maka semakin banyak pula jumlah air yang diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)* dengan demikian akan semakin banyak pula jumlah N-total yang diserap.

Kandungan nitrogen dalam air limbah dapat diturunkan melalui mekanisme pengambilan oleh tumbuhan air, penguapan NH_3 , dan nitrifikasi serta denitrifikasi oleh bakteri. Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang tersisa

pada larutan yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar tumbuhan akan diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat yang lebih sederhana. Pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air seperti *Duckweed (Lemna minor)*, mikroorganisme dan *Duckweed (Lemna minor)* merupakan organisme utama yang berperan dalam proses penyerapan zat organik dan nutrient dalam air limbah. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang mudah diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)*, yang akan memicu *Duckweed (Lemna minor)* untuk mempercepat proses penguraian bahan organik, selain itu proses penyerapan ion-ion oleh *Duckweed (Lemna minor)* akan mencegah terjadinya pemupukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi mikroorganisme itu sendiri (Ismunandar, 2004). Pada table 4.2 terlihat bahwa efisiensi penurunan kandungan N-total lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi P-total dan COD, hal ini dikarenakan bakteri pengurai N tidak dapat bekerja dengan baik dalam proses mengubah senyawa menjadi ion yang lebih kecil. Hal ini dimungkinkan oleh kondisi lingkungan yang kurang mendukung bakteri untuk dapat bertahan hidup. Akibatnya, N-total sulit diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)*.

Stowel, 1981 (Dalam Ismunazar, 2004) menyebutkan bahwa tumbuhan air seperti *Duckweed (Lemna minor)*, memiliki akar-akar mengapung yang pendek dengan banyak akar tambahan yang diliputi bulu-bulu akar yang lembut dan lebat. Permukaan akar digunakan oleh mikroorganisme untuk tempat pertumbuhannya sehingga kepadatan mikroorganisme dalam sistem akar meningkat. Pada akar tumbuhan air terjadi nitrifikasi dimana merupakan tempat pertumbuhan yang sesuai mikroorganisme sehingga kandungan nitrogen dalam air limbah dipisahkan dari proses nitrifikasi serta denitrifikasi yang berlangsung dalam sediment.

Nitrogen akan diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion NO_3^- atau NH_4^+ dan kebutuhannya disesuaikan dengan jenis tumbuhan dan faktor lingkungan untuk menentukan jenis nitrogen mana yang akan digunakan oleh tumbuhan tersebut. Penyerapan nitrogen juga dipengaruhi oleh nilai keasaman (pH), apabila pH rendah penyerapan NO_3^- lebih baik pada kebanyakan tanaman dan bila pH nya tinggi maka NH_4^+ yang akan lebih banyak diserap. Pada pH 6,8 tumbuhan

menyerap kedua ion ini dengan jumlah yang sama. (Ismunazar, 2004). Tetapi harus tetap diperhatikan bahwa *Duckweed (Lemna minor)* mempunyai batasan usia tidak lebih dari 14 hari. Tumbuhan yang telah tua akan memiliki kemampuan menyerap nutrient yang sangat rendah (Eka, 1998).

Untuk memprediksi nilai persen removal N-total dari variasi kerapatan, waktu detensi dan tinggi muka air dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil yang diperoleh menunjukkan 98,25 % peningkatan nilai persen removal N-total dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan, waktu detensi dan tinggi muka air.

4.6.2 Penurunan Konsentrasi P Total

Fosfor berguna untuk merangsang perkembangan akar dan sebagai bahan mentah untuk pembentukan sejumlah protein tertentu. Selain itu unsur ini juga berperan membantu asimilasi dan pernafasan sekaligus mempercepat pemasakan biji dan buah.

Untuk parameter P-total, dapat dilihat bahwa pada setiap tahapan terdapat perbedaan tingkat persen removal, dimana persen removal yang tertinggi sebesar 90,376 % pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² dengan ketinggian muka air 6 cm yang terjadi pada hari ke lima. Sedangkan persen removal yang terendah sebesar 69,087 % pada kerapatan tanaman 70 mg/cm² dengan ketinggian muka air 2 cm yang terjadi pada hari pertama. Pada gambar 4.2 juga dapat terlihat bahwa persen removal pada berbagai variasi kerapatan dengan waktu detensi 1, 5, dan 10 menunjukkan terjadinya penurunan yaitu pada kerapatan tanaman 90 mg/cm. Hal ini disebabkan oleh laju pertumbuhan yang terhambat akibat tempat perkembangan *Duckweed (Lemna minor)* yang sudah tidak tersedia lagi karena kepadatan yang cukup tinggi sehingga jumlah tumbuhan yang terlalu padat akan mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri, menurut Sitompul dan Guritno (1995) dalam Subrata (2007) bahwa makin rapat tumbuhan yang ada disuatu area, maka kompetisi yang terjadi untuk mendapatkan nutrient semakin besar, yang dimana akan mempengaruhi pertumbuhan itu sendiri.

Pengaruh variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan P-total dapat dilihat dari nilai koefisien

korelasinya. Pada tabel 4.17 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh untuk variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan P-total masing-masing adalah 0,366, 0,219 dan 0,610. Artinya hubungan antara variable kerapatan tanaman dan waktu detensi terhadap persen removal P-Total adalah lemah, sedangkan hubungan anatar variable ketinggian muka air terhadap persen removal adalah kuat, hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya *Duckweed (Lemna minor)* yang terdapat pada media tanam maka kemampuannya untuk menyerap konsentrasi P-total akan semakin besar, tetapi dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* dan tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007).

Mekanisme penurunan fosfat dalam sistem akuatik merupakan pengambilan oleh tumbuhan, reaksi adsorpsi kimiawi dan presipitasi (terjadi terutama pada sedimen) pengambilan oleh tumbuhan tidak terjadi begitu saja, karena tumbuhan hanya dapat menyerap material organik yang sudah diuraikan menjadi ion. Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang tersisa pada larutan yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar tumbuhan akan diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat yang lebih sederhana. Pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air seperti *Duckweed (Lemna minor)*, mikroorganisme dan *Duckweed (Lemna minor)* merupakan organisme utama yang berperan dalam proses penyerapan zat organik dan nutrient dalam air limbah. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang mudah diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)*, yang akan memicu *Duckweed (Lemna minor)* untuk mempercepat proses penguraian bahan organik, selain itu proses penyerapan ion-ion oleh *Duckweed (Lemna minor)* akan mencegah terjadinya pemupukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi mikroorganisme itu sendiri (Ismunandar, 2004).

Untuk memprediksi nilai persen removal P-total dari variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan tinggi muka air dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil yang diperoleh menunjukkan 52,0 % peningkatan nilai persen

removel P-total dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan tinggi muka air.

Fosfor sering terdapat dalam air limbah sebagai senyawa ortofosfat (H_2PO_4^- , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-}) polifosfat ($(\text{PO}_3)_6^{3-}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$, $\text{P}_2)_7^{4-}$) dan fosfat organik yaitu P yang terikat dengan senyawa organik sehingga tidak berada dalam larutan secara lepas. Unsur tersebut berada dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat dalam sel organisme dalam air. Jika fosfat yang tersedia didalam media tidak cukup banyak, maka nitrogen yang ada akan berkurang. Fosfat akan lebih mudah diserap akar jika nitrogen tersedia dalam bentuk zat-zat organik, misalnya urea. Kebanyakan fosfor menimbulkan cepat dewasanya tumbuhan (Dwidjoseputro dalam Ismunandar, 2004). Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang tersisa pada larutan yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar tumbuhan akan diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat yang lebih sederhana.

4.6.3. Penurunan Konsentrasi COD

Dari hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi COD dengan berbagai variasi. Dimana persen removel yang tertinggi sebesar 99,783 % pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² dengan tinggi muka air 6 cm yang terjadi pada hari kelima. Sedangkan persen removel yang terendah sebesar 99,302 % pada kerapatan tanaman 70 mg/cm² dengan tinggi muka air 2 cm yang terjadi pada hari pertama. Pada gambar 4.3 juga dapat terlihat bahwa persen removel pada berbagai variasi kerapatan tanaman dengan waktu detensi 1, 5, dan 10 menunjukkan terjadinya penurunan yaitu pada kerapatan tanaman 90 mg/cm², hal ini disebabkan oleh laju pertumbuhan yang terhambat akibat tempat perkembangan *Duckweed* (*Lemna minor*) yang sudah tidak tersedia lagi karena kepadatan yang cukup tinggi sehingga jumlah tumbuhan yang terlalu padat akan mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri, menurut Sitompul dan Guritno (1995) dalam Subrata (2007) bahwa makin rapat tumbuhan yang ada disuatu area,

maka kompetisi yang terjadi untuk mendapatkan nutrient semakin besar, yang dimana akan mempengaruhi pertumbuhan itu sendiri.

Dari hasil penelitian secara umum diketahui trend penurunan paling besar terjadi pada periode waktu 0-5 hari, yaitu untuk penurunan semua jenis parameter pada semua variasi. Hal ini dimungkinkan karena nutrien yang diambil masih mencukupi, tetapi setelah 5 hari persediaan nutrien menyusut. selain itu tumbuhan yang sudah tua yang telah berkurang sekali dalam hal penyerapan (Vymazal, 1995) menyebabkan efektifitas *Duckweed (Lemna minor)* dalam menyerap nutrien juga berkurang (Raharjo, 1998).

Pengaruh variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan COD dapat dilihat dari nilai koefisien korelasinya. Pada tabel 4.24 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh untuk variasi kerapatan, waktu detensi dan ketinggian muka air terhadap persentase penurunan COD masing-masing berturut-turut adalah 0,488, 0,493 dan 0,611. Artinya hubungan antara variable kerapatan dan waktu detensi terhadap persen removal COD adalah sedang, sedangkan hubungan anatar variable ketinggian muka air terhadap persen removal adalah kuat. hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya *Duckweed (Lemna minor)* yang terdapat pada media tanam maka kemampuannya untuk menyerap konsentrasi COD akan semakin besar, tetapi dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* dan tumbuhan tidak saling tumpang tindih (Subrata, 2007).

Aktivitas mikroorganisme memegang peranan penting dalam proses penguraian bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang tersisa pada larutan yang tersuspensi dalam air, melekat pada sedimen atau melekat pada akar tumbuhan akan diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat yang lebih sederhana. Pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air seperti *Duckweed (Lemna minor)*, mikroorganisme dan *Duckweed (Lemna minor)* merupakan organisme utama yang berperan dalam proses penyerapan zat organik dan nutrient dalam air limbah. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang mudah diserap oleh *Duckweed (Lemna minor)*,

yang akan memicu *Duckweed (Lemna minor)* untuk mempercepat proses penguraian bahan organik, selain itu proses penyerapan ion-ion oleh *Duckweed (Lemna minor)* akan mencegah terjadinya pemupukan ion-ion yang dapat bersifat racun bagi mikroorganisme itu sendiri (Ismunandar, 2004).

Untuk memprediksi nilai persen removal P-total dari variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan tinggi muka air dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil yang diperoleh menunjukkan 57,4 % peningkatan nilai persen removal COD dapat dijelaskan oleh variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan tinggi muka air.

4.6.4. Analisa Pertumbuhan Tanaman

Pada reaktor, pengukuran pertumbuhan tanaman dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan keadaan awal dan akhir pada masing-masing tanaman. Pada tanaman *Duckweed (Lemna minor)* analisa pertumbuhan tanaman dilihat berdasarkan kerapatan tanaman. Dari hasil penelitian terlihat bahwa terjadi penambahan berat basah selama 10 hari penelitian. Pertambahan berat basah paling tinggi terjadi pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² yang terjadi pada hari lima sebesar 0,4 gr dan terendah pada kerapatan tanaman 70 mg/cm² dan 80 mg/cm² yang terjadi pada hari pertama yaitu sebesar 0,01 gr. Seperti diketahui bahwa *Duckweed (Lemna minor)* dalam perkembangbiakannya sangat tergantung pada lingkungannya. Jika ruang tumbuh *Duckweed (Lemna minor)* tersedia, maka tumbuhan ini akan mampu berkembangbiak sangat cepat. Tetapi sebaliknya bila kondisi media tidak memungkinkan (tidak ada ruang tumbuh dan nutrisi yang mencukupi) pertumbuhan *Duckweed (Lemna minor)* akan terhambat. Hasil tertinggi yang dicapai pada kerapatan tanaman 80 mg/cm² menunjukkan bahwa pada hari ke lima, telah terjadi proses adaptasi *Duckweed (Lemna minor)* dalam lingkungannya untuk menyerap nutrisi yang ada. Keterangan ini didukung oleh perhitungan Moshiri dalam Raharjo (1998), yaitu *Duckweed (Lemna minor)* dalam kondisi yang optimum dapat menggandakan hanya dalam waktu 3-4 hari tetapi bila dalam keadaan terhambat (lingkungan tidak menunjang) *Duckweed (Lemna minor)* tidak mampu menggandakan diri. Dalam kasus ini, adaptasi

Duckweed (Lemna minor) menurut Vymazal (1995), dapat berupa penyempitan daun untuk menambah ruang tumbuh (Raharjo,1998).

Berdasarkan pengamatan tidak adanya perbedaan suhu yang signifikan selama waktu penelitian, yaitu $\pm 28^{\circ}$ C. Hal yang sama juga terjadi pada pH, dimana selama 10 hari pengamatan pH bernilai $\pm 4,2$ untuk semua variasi. Untuk tanaman *Duckweed (Lemna minor)* tumbuhan ini dapat tumbuh dengan baik pada pH 4,5-7,5 dan pada suhu optimum $18-40^{\circ}$ C, banyak juga *Duckweed (Lemna minor)* dapat bertahan hidup pada temperature yang ekstrem, tetapi pertumbuhan paling cepat adalah dalam kondisi hangat dan banyak menerima sinar matahari pada temperature optimum $30-40^{\circ}$ C (Eka, 1998) mengenai pertumbuhan algae, secara visual tidak terjadi pertumbuhan pada semua variasi maupun reaktor kontrol.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Tanaman *Duckweed (Lemna minor)* mampu menurunkan kandungan COD limbah tahu sebesar 99,783 %, N-Total sebesar 81,521 % dan P-Total sebesar 90,376 %.

Kerapatan tanaman sebesar 80 mg/cm² adalah kerapatan yang paling optimum untuk menurunkan kandungan senyawa organik dalam air limbah industri tahu untuk menurunkan kandungan COD, N-Total dan P-Total.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian pemanfaatan *Duckweed (Lemna minor)* dalam proses fitoremediasi senyawa organik dalam limbah, dengan variasi kerapatan tanaman, waktu detensi dan tinggi muka air.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh persen removal optimum dengan variasi kerapatan 70 mg/cm², 80mg/cm² dan 90mg/cm², dengan mempertimbangkan luasan reaktor yang akan dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

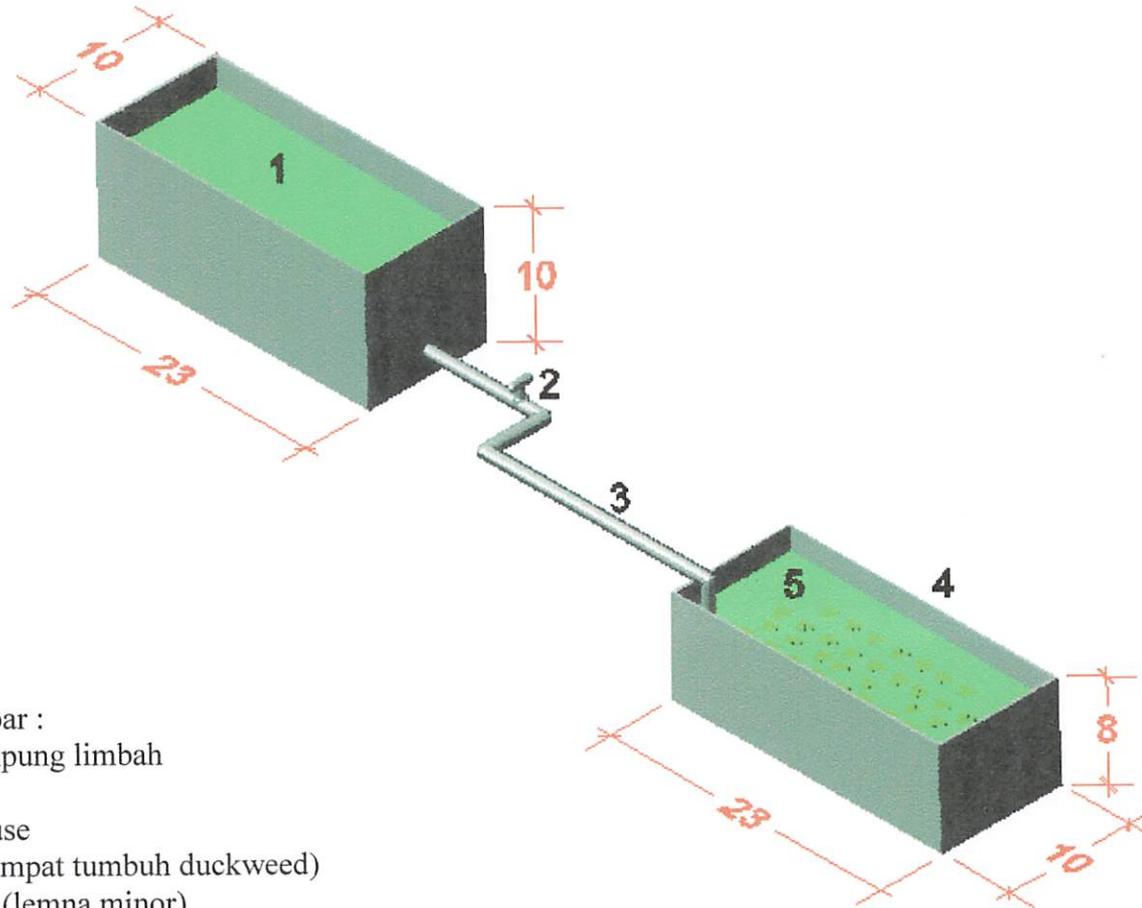
- Alaerts, G dan Santika, S.S (1984). **Metoda Penelitian Air**. Usaha Nasional. Surabaya.
- Anonim. 1991. **Analisa Konsentrasi P Total Dengan Menggunakan Metode SNI 19-2483-1991**. Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I.
- Anonim. 2002. **Keputusan Menteri Kesehatan NO. 907/MENKES/SK/VII/2002**. Lab Teknik Manajemen.html. Diakses pada tanggal 27 april 2007 pada jam 10:23 Am.
- Anonim. 2003. **Fitoremediasi (Upaya Mengolah Air Limbah Dengan Media Tanaman)**. Direktorat Perkotaan Dan Pedesaan Wilayah Barat, Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah <http://www.ampl.or.id/admin/pdf/publikasi/fitoremediasi.pdf>. diakses tanggal 5 Maret 2007 pada jam 08:20 Am.
- Anonim. 2003. **Water Gardening**. nSnare digital Media. <http://www.deverplants.com/wgard/html/locate.htm>. Diakses tanggal 28 juni 2006 pada jam 09:45 Am.
- Anonim. **Fitoremediasi Lingkungan Perairan Tawar Penyerapan Radiosesium Oleh Kiambang (Salvinia moiesta)**<http://www.batanbdg.go.id/modules.php>. Diakses tanggal 25 agustus 2008. jam 09:13 Am.
- Eka, Agatha Puspita Retnosari. 1998. **Dekonstrasi Amonium dan Nitrat Oleh Duckweed (Lemna minor)**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Damayanti, Alia. Hermana, Joni dan Masduqi, Ali (2004), **Analisis Resiko Lingkungan Dari Pengolahan Limbah Pabrik Tahu Dengan Kayu Apu (Pistia Stratiotes)**. Jurnal Purifikasi Volume 5 no 4.
- Ferdian, Iyan. 2005. **Pengaruh Waktu dan Debit Udara Pada Tahap Reaksi Terhadap Penurunan konsentrasi BOD, SO₄ dan NO₃ Pada Air Limbah Tahu Untuk Penerapan SBR**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Fitrianni, Laksmi (2002), **Studi Literature Pemanfaatan Tumbuhan Air Untuk Pengolahan Limbah Cair Domestik**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Herlambang, Arie (2002), **Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu – Tempe**. BPPT Lingkungan Jakarta dan Bapedalda Samarinda. http://www.brawijaya/fp.brawijaya.ac.id/publikasi_jurnal_habitat_fak_pertanian. Diakses tanggal 26 september 2007.jam 07:23.
- <http://www.rook.org/eart/bwca/nature/aquatics/lemna.html>. Diakses tanggal 11 januari 2007. jam 10:50.
- http://www.arkive.org/spesies/ark/plants_and_algae/lemna_minor/>lbk. Diakses tanggal 11 januari 2007. jam 11:00.
- http://www.fishfarmsupply.ca//duckweed_mounted.jpg. Diakses pada tanggal 11 januari 2007. jam 11:30.

- <http://www.unej.ac.id/fakultas/mipa/jid/vol5no2/oman.pdf>. Diakses tanggal 25 agustus 2008. jam 09:10 Am.
- <http://ntb.litbang.deptan.go.id/2002/TPH/pengelolaanpupuk.doc>. Diakses tanggal 25 agustus 2008. jam 10:07 Am.
- http://www.novelvar.com/download/makalah_seminar.pdf. Diakses tanggal 25 agustus 2008. jam 09:01.
- Indradewa, Didik. Sastrowonoto, Soemartono. Notohadisuwarno S. Prabowo Hari. **Metabolisme Nitrogen Pada Tanaman Kedelai Yang Mendapat Genangan Air Dalam Parit.**http://agrisci.ugm.ac.id/vol11_2/no7_gnangnkdlai.pdf. Diakses tanggal 25 agustus 2008. jam 09:06 Am.
- Inggriani, Ety (2006), **Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan Tumbuhan Azzola Pinnata Sebagai Biofilter.** Laporan Tugas Akhir Jurusan Pertanian Universitas Brawijaya Malang.
- Iriawan, Nur dan Astuti, Puji Septi.2006. **Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14.** Andi. Yogyakarta.
- Irwan, Lalu. 2005. **Uji Kemampuan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) dalam Menurunkan Konsentrasi Krom dan BOD Pada Limbah Penyamakan Kulit.** Laporan Tugas_Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Ismunazar. 2004. **Penyisihan Nitrat Dan Fosfat Dalam Air Limbah Dengan Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes).** Program Pascasarjana Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Jenie, Betty S. L dan Rahayu W. P (1999), **Penanganan Limbah Industri Pangan.** Penerbit Kanisius.
- Lakitan, Benyamin. 2004. **Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan.** Penerbit PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Mangkoediharjo, Sarwoko. 2005. **fitoteknologi dan Ekotoksilogi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah.** Jurusan Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. www.its.ac.id/personal/files/pub/170-sarwoko-enviro-seminar%20TL.pdf. Diakses tanggal 5 maret 2007 pada jam 09:45 Am.
- Mayang, Anandini P. 2006. **Laju Evapotranspirasi Pada Penurunan Konsentrasi Cu^{2+} Didalam Reaktor Batch Dengan Menggunakan Floating Aquatic Plant Dengan Menggunakan Tumbuhan_Eceng Gondok(Eichhornia Crassipes), Kayu Apu (Pistia Stratiotes) dan Duckweed (Lemna Minor).** Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- P. Juli, Ni ketut. 2005. **Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil Untuk Proses Penurunan Warna dan Kandungan Organik dengan Koagulan Khitosan dari Limbah Perikanan.** Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Raharjo, Taufik Ajie (1998), **Studi Penurunan Kandungan Cod, N-Total, P-Total Dengan Menggunakan Tumbuhan Duckweed.** Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan_FTSP ITS Surabaya.

- Retnosari, Agatha Eka Puspita (1998), **Dekonsentrasi Ammonium Dan Nitrat Oleh Duckweed**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Siregar, Sakti A (2005), **Instalasi Pengolahan Air Limbah**. Penerbit Kanisius.
- Soleh, Zanbar Achmad, 2005. **Ilmu Statika: Pendekatan Teoritis dan Aplikatif Disertai Contoh Penggunaan SPSS**. Rekayasa sains. Bandung.
- Subrata, Yudha (2007), **Fitoremediasi Logam Berat Cu^{2+} Pada Air Limbah Industri Electroplating Dengan Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes)**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Sugiharto. 1987. **Dasar-dasar pengolahan air limbah**. Jakarta, Universitas Indonesia Press.
- Sumartananda, I Putu Agus (2002), **Studi Pemanfaatan ABR Dan Duckweed (Lemna minor) Untuk Penurunan Konsentrasi N Dan P Pada Limbah Pabrik Tahu**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Suryantara, I Wayan Andi.1999. **Kemampuan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) Dalam Mereduksi Kadar Logam Cu dan Cr pada Sampel Buatan dengan Metode Hidroponik**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Suwariyanti, A. 2002. **Studi Literatur Penurunan Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) Dalam Limbah Cair Dengan Memanfaatkan Tumbuhan Air**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Umi, Dyah S.1999. **Studi Pemanfaatan Azolla Pinata Untuk Menurunkan COD, N dan P Pada Air Limbah Tahu**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.
- Widyaningtyas, Ajeng (2006), **Uji Kemampuan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Dalam Menurunkan Cr Total Dan Warna Limbah Tekstil**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.

LAMPIRAN 1
DESAIN ALAT

Gambar 1. Desain Alat



Keterangan gambar :

1. Bak penampung limbah
2. Valve
3. Selang infuse
4. Reaktor (tempat tumbuh duckweed)
5. Duckweed (lemna minor)

LAMPIRAN 2
PROSES PENELITIAN



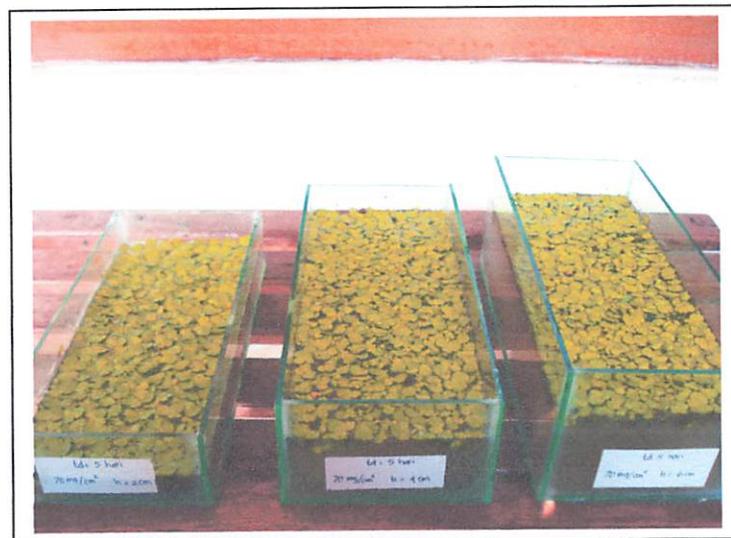
Gambar 1. Reaktor



Gambar 2. Proses Penelitian



Gambar 3. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 70 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Pertama



Gambar 4. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 70 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari kelima



Gambar 5. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 70 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Kesepuluh



Gambar 6. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 80 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Pertama



Gambar 7. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 80 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Kelima



Gambar 8. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 80 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Kesepuluh



Gambar 9. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 90 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Pertama



Gambar 10. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 90 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Kelima



Gambar 11. *Duckweed (Lemna minor)* Dengan Kerapatan 90 mg/cm^2 Dengan Tinggi Muka Air 2 cm, 4 cm, 6 cm Pada Hari Kespuluh

LAMPIRAN 3
DATA HASIL PENELITIAN

Data Pertumbuhan Tanaman

Kerapatan (Mg/cm ²)	Hari	Berat Awal (mg)	Berat Akhir (mg)	Kepadatan Akhir (mg)	ln Kepadatan Awal (mg)	ln Kepadatan Akhir (mg)	RGR
70	1	16100	16150	70,22	4,248	4,25	0,01
80		18400	18480	80,35	4,382	4,39	0,01
90		20700	20810	90,48	4,499	4,51	0,02
70	5	16100	113050	491,52	4,248	6,20	0,4
80		18400	138600	602,61	4,382	6,40	0,41
90		20700	145670	633,35	4,499	6,45	0,39
70	10	16100	178000	773,91	4,248	6,65	0,24
80		18400	212520	924	4,382	6,83	0,245
90		20700	249720	1005,739	4,499	6,99	0,249



SA TIRTA 1

LABORATORIUM KUALITAS AIR

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



Laboratorium Penguji
LP - 227 - IDN

Nomor : 044-1 S/LKA MLG/II/08

Kode Contoh Uji : Est. 117-124/PC/II/2008/139-146
Sample Code : -
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method : -
Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT 1 Malang
Place of Analysis : -
Tanggal Analisa : 15 - 18 Pebruari 2008
Testing Date(s) : -

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - K 2					
1	COD	mg/l.	522,3	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/L	10,345	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/L	15,85	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - L 2					
1	COD	mg/l.	494,4	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/L	8,248	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	15,46	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - M 2					
1	COD	mg/l.	456,1	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/L	7,751	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	15,09	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - K 3					
1	COD	mg/l.	499,7	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	6,515	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	14,97	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - L 3					
1	COD	mg/l.	418,1	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	5,805	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/L	14,28	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - M 3					
1	COD	mg/L	373,7	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	5,319	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/L	13,35	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - K 1					
1	COD	mg/l.	505,3	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	8,99	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	15,11	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - L 1					
1	COD	mg/l.	477,2	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	7,34	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	14,89	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - M 1					
1	COD	mg/l.	414,4	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	-
2	Phospat total (PO ₄ -P)	mg/l.	6,82	SNI 19-2483-1991	-
3	Total Kjedal Nitrogen	mg/l.	13,97	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-

Keterangan : -



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

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

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

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



LABORATORIUM KUALITAS AIR

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



Laboratorium Pengaji
 LP - 227 - IDN

Nomor : 044 S/LKA MLG/II/08

Kode Contoh Uji : ENL 97-106/PC/II/2008/119-128
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 15 Februari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA *Result of Analysis*

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 2					
1	Phospat total	mg/l.	3,67	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,61	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,84	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 2					
1	Phospat total	mg/L.	3,02	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,95	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - G - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,38	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,59	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 2					
1	Phospat total	mg/L	1,63	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,86	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-

Petjelasan : -



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

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

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

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta 1 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) 331060, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id



Laboratorium Penguji
IP - 227 - IDN

Nomor : 044 S/LKA MLG/II/08

Kode Contoh Uji : Ext. 59-69/PC/II/2008/76-85
Sample Code
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method
Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 15 Pebruari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,603	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,438	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,196	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,424	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,493	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,903	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 2					
1	Phospat total	mg/L	1,622	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,400	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 2					
1	Phospat total	mg/l.	1,697	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Keterangan : -

atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta 1 Public Corporation



LABORATORIUM KUALITAS AIR

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



Laboratorium Pengalil
LP - 227 - IDN

Nomor : 044 S/LKA MLG/II/08

ode Contoh Uji : Ext. 40-49/PC/II/2008/56-65
mple Code
etode Pengambilan Contoh Uji : -
mpling Method
empat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
lace of Analysis
anggal Analisa : 15 Pebruari 2008
esting Date(s)

HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 2					
1	Phospat total	mg/l.	4,513	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,875	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 2					
1	Phospat total	mg/l.	2,927	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 2					
1	Phospat total	mg/L	3,385	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,077	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,595	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,477	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 2					
1	Phospat total	mg/L	1,749	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 2					
1	Phospat total	mg/L	2,266	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Keterangan : -

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

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

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

LABORATORIUM KUALITAS AIR

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

YKAN
LABORATORIUM KUALITAS AIR
Laboratorium Pengujian
LP - 227 - IDN

Nomor : 044 S/LKA MLG/11/08

Contoh Uji : Ext. 50-59/PC/11/2008/66-75
Sample Code
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method
Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT 1 Malang
Date of Analysis
Tanggal Analisa : 18 Februari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	13,98	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	10,33	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	13,64	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	10,11	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	9,62	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	11,64	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	8,17	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	6,46	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	9,88	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Ceterangan : -

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

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

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



PT JASATIRTA 1

LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976

Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134

E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id

Laboratorium Penguji
LP - 227 - (DN)

Nomor : 044 S/LKA MLG/II/08

Kode Contoh Uji : Ext. 83-93/PC/II/2008/99-109
Sample CodeMetode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling MethodTempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT 1 Malang
Place of AnalysisTanggal Analisa : 18 Februari 2008
Testing Date(s)**HASIL ANALISA**
Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Muiyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	12,73	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	8,12	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	17,59	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	9,15	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	6,42	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	6,895	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	6,51	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	3,06	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 3					
1	Total Kjedad Nitrogen	mg/L	5,74	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Keterangan : -

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

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

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

Nomor : 044 S/LKA MLG/II/08

Kode Contoh Uji : EST 91-96/PC/II/2008/113-118
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air P.T.I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 15 Pebruari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 1					
1	COD	mg/l.	260,7	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 1					
1	COD	mg/l.	214,6	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 1					
1	COD	mg/l.	249,9	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 1					
1	COD	mg/l.	239,9	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 1					
1	COD	mg/l.	189,5	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 1					
1	COD	mg/l.	212,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 1					
1	COD	mg/l.	208,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 1					
1	COD	mg/l.	166,8	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 1					
1	COD	mg/l.	173,1	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Keterangan : -

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

*Sertifikat atau laporan ini sah, bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation*

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



LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Suabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976

Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331660, Fax. (0321) 395134

E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id



Laboratorium Penguji
IP - 227 - 10H

SA TIRTA 1

Nomor : 044 S/LKA MLC/11/08

Kode Contoh Uji : Ext. 70-89/PC/11/2008/96-105
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 15 Pebruari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 1					
1	COD	mg/l.	257,6	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 1					
1	COD	mg/l.	173,5	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 1					
1	COD	mg/L	234,4	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 1					
1	COD	mg/l.	199,8	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 1					
1	COD	mg/l.	134,3	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 1					
1	COD	mg/L	198,9	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 1					
1	COD	mg/L	162,3	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 1					
1	COD	mg/l.	119,6	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 1					
1	COD	mg/l.	136,2	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-



Keterangan : -

Report or certificate is valid only for the sample mentioned above and shall not be reproduced or published without any approval from the Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

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



LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65118, Indonesia. Telp. (0341) 551071, Fax. (0341) 551070

Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134

E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id



Laboratorium Penguji
IP - 227 - IDN

PT JASATIRTA 1

Nomor : 044 S/LKA MLG/II /08

Kode Contoh Uji : Ext 30-39/PC/II/2008/46-55
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PTTI Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 15 Pebruari 2008
Testing Date(s)

HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
Sampel Limbah Tahu Mulyorejo Malang					
1. Kode Sampel - A - 1					
1	COD	mg/l.	471,8	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
2. Kode Sampel - B - 1					
1	COD	mg/L	291,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
3. Kode Sampel - C - 1					
1	COD	mg/l.	308,5	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
4. Kode Sampel - E - 1					
1	COD	mg/l.	397,5	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
5. Kode Sampel - F - 1					
1	COD	mg/L	240,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
6. Kode Sampel - G - 1					
1	COD	mg/l.	271,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
7. Kode Sampel - H - 1					
1	COD	mg/l.	343,2	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
8. Kode Sampel - I - 1					
1	COD	mg/l.	231,6	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-
9. Kode Sampel - J - 1					
1	COD	mg/l.	261,0	APHA. Ed. 20. 4500. N-Organik B, 1998	-

Ceterangan : -



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

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

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

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

LAMPIRAN 4
ANALISIS STATISTIK

Results for: Worksheet 1

Correlations: persen removel; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

	persen remov	hari	variasi kera
hari	0,278 0,160		
variasi kera	0,156 0,436	0,000 1,000	
tinggi muka	0,738 0,000	-0,000 1,000	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: persen removel versus hari; variasi kerapatan; ...

The regression equation is
 persen removel = - 14,9 + 1,24 hari + 0,313 variasi kerapatan
 + 7,39 tinggi muka air

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-14,95	20,78	-0,72	0,479	
hari	1,2356	0,5505	2,24	0,035	1,0
variasi kerapatan	0,3135	0,2482	1,26	0,219	1,0
tinggi muka air	7,395	1,241	5,96	0,000	1,0

S = 10,5317 R-Sq = 64,7% R-Sq(adj) = 60,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	4672,8	1557,6	14,04	0,000
Residual Error	23	2551,1	110,9		
Total	26	7223,8			

Source	DF	Seq SS
hari	1	558,8
variasi kerapatan	1	176,9
tinggi muka air	1	3937,1

Unusual Observations

Obs	hari	persen removel	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
15	5,0	81,52	60,68	3,21	20,84	2,08R

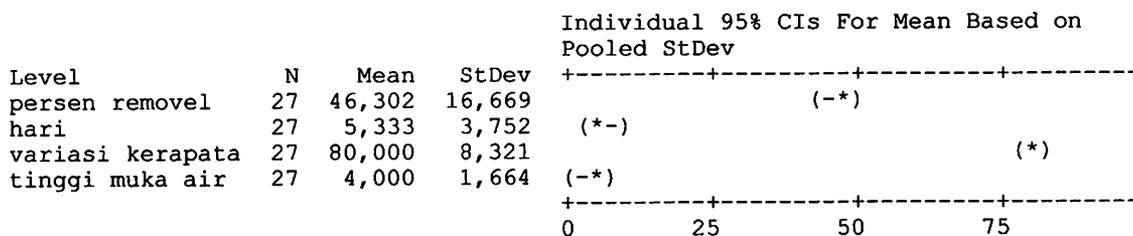
R denotes an observation with a large standardized residual.

One-way ANOVA: persen removel; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

Factor 3 107704,9 35901,6 394,61 0,000
 Error 104 9461,8 91,0
 Total 107 117166,8

S = 9,538 R-Sq = 91,92% R-Sq(adj) = 91,69%



Pooled StDev = 9,538

Results for: Worksheet 2

Correlations: persen removel; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

	persen remov	hari	variasi kera
hari	0,219 0,049		
variasi kera	0,366 0,045	0,000 1,000	
tinggi muka	0,610 0,001	-0,000 1,000	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
 P-Value

Regression Analysis: persen removel versus hari; variasi kerapatan; ...

The regression equation is
 persen removel = 58,4 + 0,155 hari + 0,214 variasi kerapatan
 + 1,78 tinggi muka air

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	58,357	7,069	8,26	0,000	
hari	0,1548	0,1873	0,83	0,047	1,0
variasi kerapatan	0,21417	0,08445	2,54	0,018	1,0
tinggi muka air	1,7838	0,4222	4,22	0,000	1,0

S = 3,58281 R-Sq = 52,0% R-Sq(adj) = 45,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	320,42	106,81	8,32	0,001
Residual Error	23	295,24	12,84		
Total	26	615,66			

Source	DF	Seq SS
hari	1	8,77

variasi kerapatan 1 82,56
 tinggi muka air 1 229,09

Unusual Observations

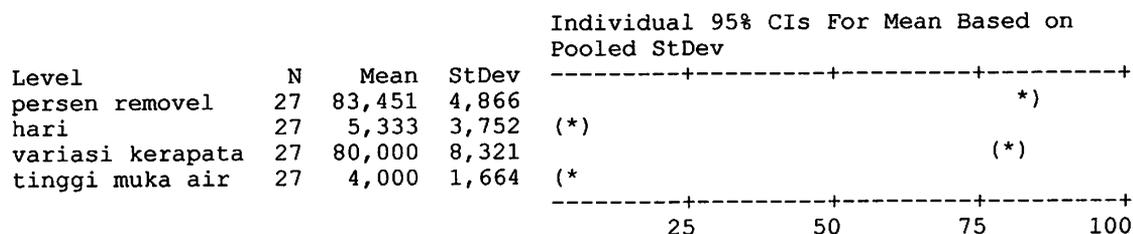
Obs	hari	persen removel	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1,0	69,087	77,071	1,600	-7,984	-2,49R

R denotes an observation with a large standardized residual.

One-way ANOVA: persen removel; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	160513,0	53504,3	1949,93	0,000
Error	104	2853,7	27,4		
Total	107	163366,6			

S = 5,238 R-Sq = 98,25% R-Sq(adj) = 98,20%



Pooled StDev = 5,238

Results for: Worksheet 3

Correlations: persen removel; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

	persen remov	hari	variasi kera
hari	0,493 0,009		
variasi kera	0,488 0,015	0,000 1,000	
tinggi muka	0,611 0,001	-0,000 1,000	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: persen removel versus hari; variasi kerapatan; ...

The regression equation is
 persen removel = 9,8 + 1,61 hari + 0,424 variasi kerapatan
 + 2,83 tinggi muka air

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	9,78	18,64	0,52	0,004	1,0
hari	1,6093	0,4939	3,26	0,003	1,0
variasi kerapatan	0,4243	0,2227	1,91	0,049	1,0

tinggi muka air 2,832 1,113 2,54 0,018 1,0

S = 9,44806 R-Sq = 57,4% R-Sq(adj) = 50,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1849,32	616,44	6,91	0,002
Residual Error	23	2053,11	89,27		
Total	26	3902,43			

Source	DF	Seq SS
hari	1	947,92
variasi kerapatan	1	324,11
tinggi muka air	1	577,29

Unusual Observations

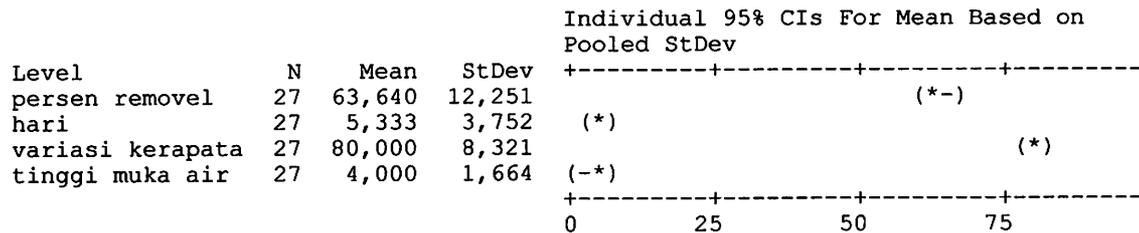
Obs	hari	persen removal	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1,0	27,05	46,76	4,22	-19,71	-2,33R

R denotes an observation with a large standardized residual.

One-way ANOVA: persen removal; hari; variasi kerapatan; tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	125395,1	41798,4	707,94	0,000
Error	104	6140,4	59,0		
Total	107	131535,5			

S = 7,684 R-Sq = 95,33% R-Sq(adj) = 95,20%



Pooled StDev = 7,684

4/12/2008 3:08:35 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help. Retrieving project from file: 'D:\DATA\NINI\NINIK.MPJ'

8/9/2008 6:52:24 PM

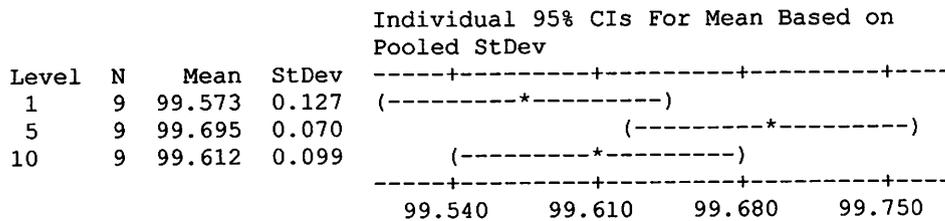
Welcome to Minitab, press F1 for help. Retrieving project from file: 'D:\DATA\NINI\NINIK.MPJ'

Results for: Worksheet 3

One-way ANOVA: persen removal--COD versus hari

Source	DF	SS	MS	F	P
hari	2	0.0693	0.0347	3.40	0.050
Error	24	0.2449	0.0102		
Total	26	0.3142			

S = 0.1010 R-Sq = 22.06% R-Sq(adj) = 15.56%

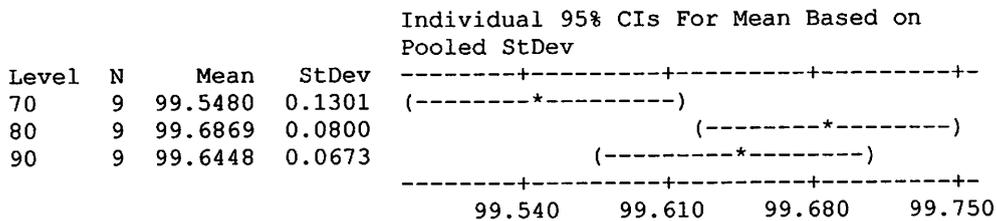


Pooled StDev = 0.101

One-way ANOVA: persen removal--COD versus variasi kerapatan

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi kerapata	2	0.09129	0.04564	4.91	0.016
Error	24	0.22291	0.00929		
Total	26	0.31420			

S = 0.09637 R-Sq = 29.05% R-Sq(adj) = 23.14%

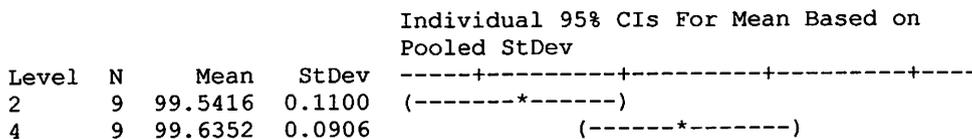


Pooled StDev = 0.0964

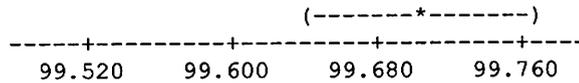
One-way ANOVA: persen removal--COD versus tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
tinggi muka air	2	0.11814	0.05907	7.23	0.003
Error	24	0.19606	0.00817		
Total	26	0.31420			

S = 0.09038 R-Sq = 37.60% R-Sq(adj) = 32.40%



6 9 99.7029 0.0648



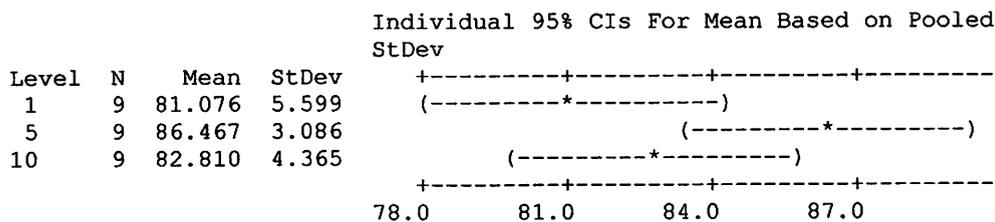
Pooled StDev = 0.0904

Results for: Worksheet 2

One-way ANOVA: persen removal P versus hari

Source	DF	SS	MS	F	P
hari	2	136.3	68.2	3.41	0.050
Error	24	479.3	20.0		
Total	26	615.7			

S = 4.469 R-Sq = 22.14% R-Sq(adj) = 15.65%

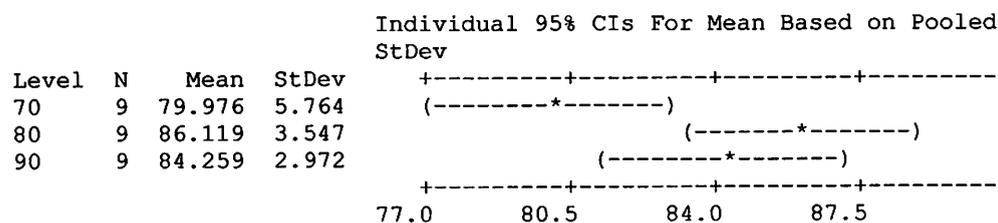


Pooled StDev = 4.469

One-way ANOVA: persen removal P versus variasi kerapatan

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi kerapata	2	178.6	89.3	4.90	0.016
Error	24	437.1	18.2		
Total	26	615.7			

S = 4.267 R-Sq = 29.01% R-Sq(adj) = 23.10%

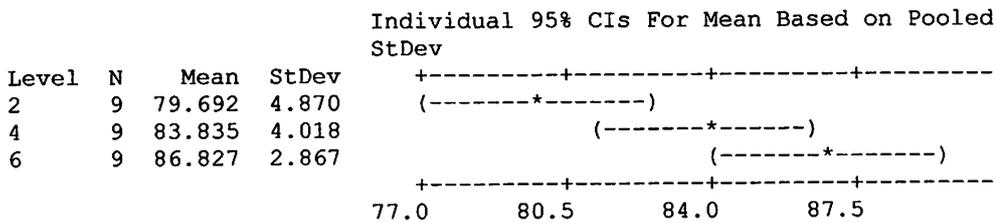


Pooled StDev = 4.267

One-way ANOVA: persen removal P versus tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
tinggi muka air	2	231.1	115.5	7.21	0.004
Error	24	384.6	16.0		
Total	26	615.7			

S = 4.003 R-Sq = 37.53% R-Sq(adj) = 32.33%



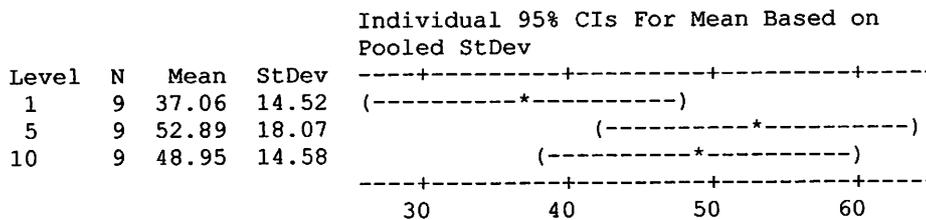
Pooled StDev = 4.003

Results for: Worksheet 1

One-way ANOVA: persen removal-N versus hari

Source	DF	SS	MS	F	P
hari	2	1224	612	3.15	0.108
Error	24	6000	250		
Total	26	7224			

S = 15.81 R-Sq = 16.94% R-Sq(adj) = 10.02%

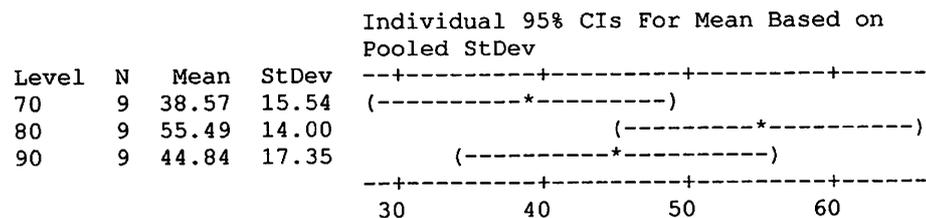


Pooled StDev = 15.81

One-way ANOVA: persen removal-N versus variasi kerapatan

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi kerapatan	2	1316	658	3.26	0.090
Error	24	5908	246		
Total	26	7224			

S = 15.69 R-Sq = 18.22% R-Sq(adj) = 11.40%

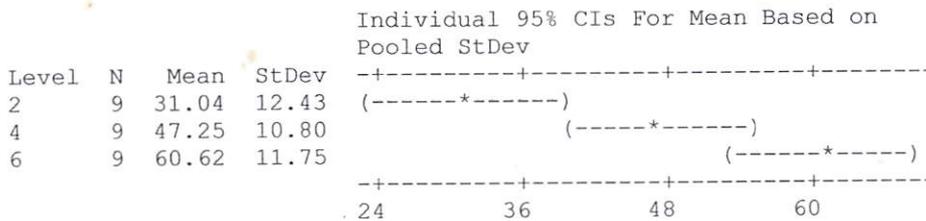


Pooled StDev = 15.69

One-way ANOVA: persen removal-N versus tinggi muka air

Source	DF	SS	MS	F	P
tinggi muka air	2	3949	1975	14.47	0.000
Error	24	3275	136		
Total	26	7224			

S = 11.68 R-Sq = 54.67% R-Sq(adj) = 50.89%



Pooled StDev = 11.68

9/9/2008 7:56:44 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving project from file:
'D:\ALLDAT~1\AREK-A~1\NINIQ\NINIBE~1\NINIK.MPJ'

9/11/2008 4:43:49 AM

FLASHBACK.....

Teman-teman yang selalu mendukung dan menyemangati saya.....

evelyn : makasi, untuk semuanya ga' ada kata-kata yang bias menggambarkan rasa terimakasih saya untuk semuanya, dan...'semua akan indah pada waktunya'

Baby : makasi sudah menjadi teman yang selalu ada untuk saya...ayo semangat kerjakan TA nya jangan kencan terus

Abang gapur : makasi semangatnya sa tau biar ko kapala tipu tapi ko selalu mengingatkan saya , seperti yang pernah ko bilang tu...'biar perut maju pantat mundur tapi semangat pun harus tetap maju jangan mundur'

Eka : ayo semangat...ada pepatah mengatakan 'memaafkan mungkin tidak memperbaiki masa lalu, tapi memaafkan akan memperindah masa depan'

Ewin : makasi untuk kebersamaannya selama ini, banyak kenangan yang tak akan terlupakan...keep smile and cayooo bb.....)

Noy : makasi untuk perhatiannya yang selalu buat saya semangat...

via : makasi untuk setiap smsnya yang sudah buat saya selalu tersenyum...

ina : makasi buat omelannya...tapi ga' ampuh tuh...

mas pay : makasi, yang ga' pernah bosan nemenin saya...ce.ce...ce...yang mau dibantai!!!

pa'de hermawan : makasi buat nasehat, bantuan, perhatian dan jalan-jalan ke Surabaya nya hehehe...cepat wes nang rabi...

dody : makasi sudah menjadi teman yang selalu perhatian...ingat ne kalo kawin undang sa , nanti sa kirim doa' sama kirim sms saja tarapapa to hehehe...

bayu : makasi udah nakut-nakutin saya kalo mau seminar... itu buat saya semangat lho...(padahal takut banget ☺ kalo ingat pak diro...), tapi akhirnya lulus juga hehehe...wes nang rabi ojo nunggu-nunggu ntar pink nya berubah jadi ijo lho...

zaky : makasi, sms nya...walaupun dah ganggu tidur saya di tengah malam, tapi itu sangat membantu. Ayo semangat mungkin dengan musibah ini, ada rencana dari allah yang lebih baik buat kamu.

Wawan : makasi, sudah semangatin saya sampe bawain mie...maksudnya apa wan?kayaknya kamu sengaja biar saya gendut...

Apay : akhirnya lulus juga hehehe...

Ajeng : makasi kebersamaannya, kapan jalan-jalan lagi?

Yudha : makasi bantuan fitoremediasi nya...

Hendrik : makasi kebersamaannya...'resapi sebuah perkenalan karena disitu ada kenangan,resapi sebuah hubungan karena disitu ada kerinduan,sayangi keduanya karena itu adalah karunia allah swt'.

TL'01 : yudis (dong, jangan tidur terus...ke kampus po'o dcariin pa'diro lho), andre (ayo semangat ntar km sendirian lho), wildan (jangan pacaran terus, TA nya dikerjain tuh), liz (kamu kemana aja?), mita (yaaa...ga' bias lulus bareng neh), devy (makasi bantuannya...), ika , indra, desy, nensi, wulan, eva, lily, maria, lili rindu, kadek, hendra, eva chasez (dah ketemu jastin ?), teguh (ngajar apa pak guru?), andi gepeng, zainal, putu (makasi untuk ide RPH nya), nila (kapan ketemu lagi?), Widi(makasi, doa'nya)

Sg/5.6 : mba eka, nining(suster N), eny, endah, rida, anung, antic, mba evel, rini, lilies, any. Makasi kebersamaannya...terasa banget pas puasa hehehe ☺

Wonogiri : ajeng, ilma, bu'tuani, tiwi, pipit, anggi. Makasi ya...

Darma : lucky, yuli, nita kentang, yeni, m'yanti, m'sri, m'dina, m'lena, butet, intan, yusi. Makasi kebersamaannya...

Etc : m'lalu (makasi nasehatnya), m'pito (makasi siraman rohaninya), ucy (makasi semangatnya), toyol (makasi bantuannya), habib (makasi nasehat dan bantuannya), b'tuani (makasi ilmu dan kebersamaannya), m'awang (makasi sayangnya), m'binox (makasi perhatiannya), m'anis, m'indah, m'ani, m'ayu.makasi ya.....

Dan untuk semua pihak yang telah membantu dan menyemangati saya tiada kata seindah terimakasih.....