

**PENGARUH VARIASI PENUTUPAN TANAMAN KAYU APU  
(*Pistia stratiotes* L.) TERHADAP PENURUNAN KADAR NITRAT ( $\text{NO}_3^-$ ) DAN  
ORTOFOSFAT ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE SANAN KOTA  
MALANG**

**SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN**

Oleh :

**RATIH PURNAMASARI  
NIM. 115080100111081**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2015**





SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan di Fakultas  
Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya

Oleh :

**RATIH PURNAMASARI**  
NIM. 115080100111081

Dosen Penguji I

Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H., MS  
NIP.19570704 198403 2 001

Tanggal:

Dosen Penguji II

Dr. Yuni Kilawati, S.Pi, M.Si  
NIP. 19730702 20051 2 001

Tanggal:

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS  
NIP. 19600505 198601 1 004

Tanggal:

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Mulyanto, M.Si  
NIP. 19600317 198602 1 001

Tanggal:

Mengetahui,

Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. Arning Wilueng E., MS  
NIP. 19620805 198603 2 001

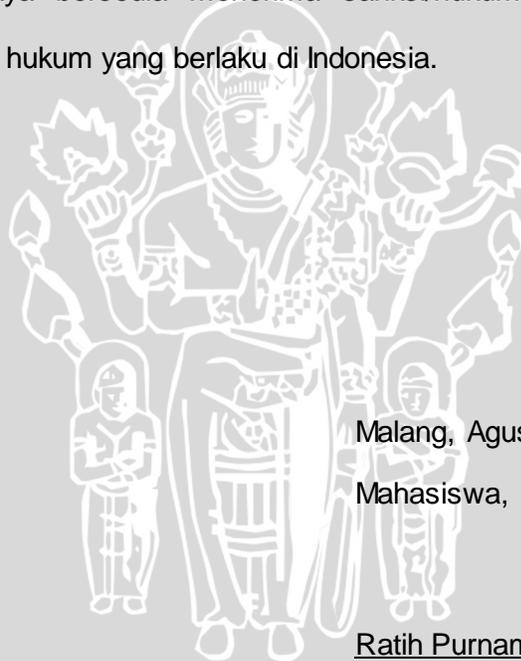
Tanggal:



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Laporan Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Laporan Skripsi ini hasil plagiat (penjiplakan), maka saya bersedia menerima sanksi/hukuman atas perbuatan tersebut, sesuai dengan hukum yang berlaku di Indonesia.



Malang, Agustus 2015

Mahasiswa,

Ratih Purnamasari  
115080100111081



## RINGKASAN

**Ratih Purnamasari.** Pengaruh Variasi Penutupan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Kadar Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Pada Limbah Cair Industri Tempe Sanan Kota Malang (Dibawah bimbingan **Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS dan Dr.Ir. Mulyanto, M.Si** ).

Industri di bidang pangan dari masa ke masa telah mengalami perkembangan, contohnya industri pembuatan tempe, kegiatan industri ini memberikan dampak positif dan negatif bagi lingkungan. Dampak positif berupa pemenuhan kebutuhan masyarakat akan sumber pangan yang meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan dampak negatifnya adalah limbah buangan yang memiliki kandungan bahan organik tinggi sehingga menimbulkan masalah pencemaran di lingkungan perairan. Maka dari itu, perlu dilakukannya sebuah upaya pengendalian terhadap buangan limbah tersebut sebelum limbah dibuang ke badan air dengan menggunakan metode fitoremediasi tanaman air kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) untuk menurunkan senyawa nitrat dan ortofosfat yang ada pada limbah cair tempe. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penutupan permukaan air oleh tanaman kayu apu terhadap penurunan kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe. Penelitian ini dilakukan selama 8 (delapan) hari pada bulan Juni 2015 di Laboratorium Reproduksi dan Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan (LBP) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen dengan menggunakan Rancangan Percobaan Acak Lengkap (RAL) Tersarang terhadap 5 (lima) perlakuan dengan 3 (tiga) kali ulangan meliputi perlakuan penutupan kayu apu 100%, 75%, 50%, 25% dan 0%. Penentuan konsentrasi yang digunakan dalam penelitian utama diperoleh dari hasil penelitian pendahuluan yaitu konsentrasi 5% dengan rasio perbandingan limbah pekat dengan air PDAM sebanyak 0,5 liter : 9,5 liter limbah yang digunakan adalah limbah perendaman akhir. Pada konsentrasi tersebut kandungan nitrat dan ortofosfat tergolong tinggi yaitu 5,588 mg/l dan 1,77 mg/l. Hasil penelitian didapatkan perlakuan penutupan terbaik terhadap penurunan kadar nitrat dan ortofosfat pada media dengan perlakuan penutupan 50%, persentase penurunan nitrat dan ortofosfat yang didapat yaitu 81,69% dan 60,17%. Hal ini ditunjukkan dengan hasil sidik ragam (ANOVA) bahwa ada perbedaan yang sangat nyata pada setiap perlakuan penutupan tanaman. Dapat dilihat dari F hitung yang lebih besar dari F tabel pada penurunan nitrat dan ortofosfat (F hitung 23,533 > F tabel 3,72) dan (F hitung 110,194 > F tabel 3,72) dengan selang kepercayaan 95%. Hasil pengukuran parameter kualitas air pendukung didapatkan suhu 22,6<sup>o</sup>C-25,5<sup>o</sup>C, pH 5,8-7 dan oksigen terlarut 3,36 mg/l-4,56 mg/l. Kondisi tersebut masih mendukung untuk kehidupan organisme dan proses penyerapan tanaman kayu apu. Kayu apu mampu digunakan sebagai agen hayati dalam menurunkan nutrien, sehingga perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut mengenai efektivitas kayu apu dalam menurunkan beban pencemar dalam air limbah selain itu diperlukan penelitian dengan menggunakan tanaman air jenis lain dengan media tanam dari air limbah industri pada konsentrasi yang berbeda.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nyalah saya dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul “**PENGARUH VARIASI PENUTUPAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) TERHADAP PENURUNAN KADAR NITRAT ( $\text{NO}_3^-$ ) DAN ORTOFOSFAT ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE SANAN KOTA MALANG**”. Dalam laporan yang disajikan ini terdapat beberapa pokok bahasan yang meliputi antara lain: penentuan konsentrasi limbah cair tempe yang digunakan, tahapan apa saja yang digunakan dalam penelitian, metode penelitian, analisa data yang digunakan hingga perhitungan berat basah tanaman sebagai paramater pendugaan laju pertumbuhan (RGR) dan waktu penggandaan (DT) tanaman kayu apu serta analisa data untuk mengetahui pengaruh variasi penutupan tanaman kayu apu terhadap penurunan kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe. Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan baik dari ketelitian pada penulisan, kesalahan dalam penyampaian kata, karena semua itu tidak lepas dari keterbatasan kemampuan yang dimiliki oleh penulis, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar laporan ini menjadi lebih baik dan dapat bermanfaat bagi para pembaca dan bagi penulis khususnya.

Malang, Juni 2015

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Laporan Skripsi yang berjudul **“PENGARUH VARIASI PENUTUPAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) TERHADAP PENURUNAN KADAR NITRAT ( $\text{NO}_3^-$ ) DAN ORTOFOSFAT ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE SANAN KOTA MALANG”**, tentunya tidak sedikit kendala yang saya hadapi. Namun penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan skripsi ini berjalan dengan baik atas bantuan, dorongan dan bimbingan dari semua pihak. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya,
2. Nabi Muhammad S.A.W dan para sahabatnya sebagai inspirasi dan suritauladan atas rasa sabar dan tidak mudah menyerah,
3. Mama dan Ayah yang tidak henti untuk selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil dan do'a yang tiada putus - putusnya, Adik kesayangan Raffi Alamsyah terima kasih atas dukungan semangat dan keceriaan yang diberikan,
4. Nenek Kakekku terima kasih atas segala do'a tulus, serta dukungan moril maupun materil,
5. Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS selaku dosen pembimbing I, terima kasih banyak atas waktu serta kesabarannya untuk selalu membimbing, memberikan nasehat dan ilmu - ilmu yang sangat bermanfaat,
6. Dr. Ir. Mulyanto, M.Si selaku dosen pembimbing II serta Ketua Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, terima kasih banyak atas waktu serta kesabarannya untuk selalu membimbing, memberikan nasehat dan ilmu - ilmu yang sangat bermanfaat,

7. Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H. MS selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun pada laporan tugas akhir ini,
8. Dr. Yuni Kilawati, S.Pi, M.Si selaku dosen penguji II terima kasih atas dukungan, kritik dan saran sehingga laporan ini menjadi lebih baik lagi,
9. Keluarga besarku di Bandung, Jawa Barat yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungan semangat dan do'anya,
10. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya dan Laboran LBP (Mbak Hawa dan Mbak Mega) Laboran Lab. Repro Pak Udin dan Pak Yit terima kasih atas bantuan, dukungan dan kerjasamanya,
11. Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS selaku ketua Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan,
12. Bapak Kasmadi beserta keluarga dan pegawainya selaku salah satu pemilik usaha pembuatan tempe di daerah Sanan Kota Malang, terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya,
13. FORSIREMIS BANDUNG, terima kasih atas kekeluargaan dan dukungannya,
14. All of you guys (who always beside and understanding me anything, anytime and every moments) thank you so much.

## DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Kegunaan Penelitian.....	5
1.6 Waktu dan Tempat Penelitian.....	5
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pencemaran .....	6
2.2 Fitoremediasi.....	8
2.3 Mekanisme Penyerapan Tanaman Air.....	9
2.4 Air Limbah .....	10
2.5 Limbah Organik.....	11
2.6 Proses Pembuatan Tempe dan Limbah yang Dihasilkan .....	13
2.7 Limbah Cair Industri Tempe.....	14
2.8 Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.).....	16
2.9 Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	19
2.10 Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	20
2.11 Parameter Kualitas Air Pendukung.....	22
2.11.1 Oksigen Terlarut ( <i>Dissolved Oxygen</i> ).....	22
2.11.2 Suhu.....	22
2.11.3 pH (Derajat Keasaman).....	24
2.12 Analisis Pertumbuhan Tanaman.....	25
<b>3. MATERI DAN METODA PENELITIAN</b>	
3.1 Materi Penelitian.....	26
3.2 Metode Penelitian.....	27
3.3 Tahapan Penelitian .....	28
a. Persiapan Aquarium .....	28

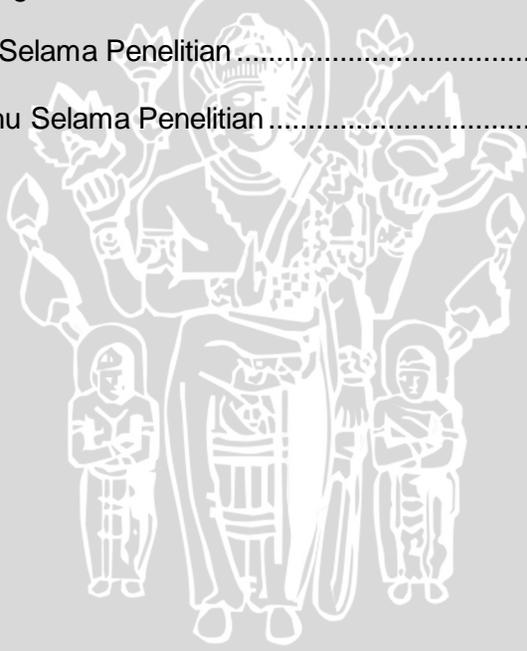
b. Persiapan Limbah Cair Tempe.....	28
c. Proses Sortir Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.).....	29
d. Aklimatisasi Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.).....	29
e. Proses Memasukkan Tanaman Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.) kedalam Aquarium Percobaan.....	30
f. Perlakuan Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.) kedalam Aquarium Percobaan.....	30
3.4 Prosedur Pengukuran Kualitas Air Pada Media Limbah Cair Tempe....	32
a. Prosedur Pengukuran Nitrat.....	32
b. Prosedur Pengukuran Ortofosfat.....	33
c. Oksigen Terlarut/DO.....	33
d. Suhu.....	34
e. Derajat Keasaman/Ph.....	34
3.5 Analisis Parameter Pertumbuhan Tanaman Kayu Apu.....	35
3.6 Analisis Data.....	36
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan.....	39
4.2 Karakterisasi Limbah Cair Tempe yang Digunakan dalam Penelitian.....	40
4.3 Kondisi Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.) Sebelum dan Selama Penelitian.....	42
4.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam 45	
4.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam.....	53
4.6 Kualitas Air Pendukung.....	61
4.6.1 Oksigen Terlarut ( <i>Dissolved Oxygen</i> ).....	61
4.6.2 Derajat Keasaman/pH.....	65
4.6.3 Suhu.....	67
4.7 Berat Basah Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.).....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>81</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat dan Bahan dalam Penelitian.....	26
2. Sidik Ragam (ANOVA) RAL Tersarang.....	37
3. Tabel Beda Nyata Terkecil (BNT).....	38
4. Kondisi Secara Fisik Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) Selama Penelitian Pendahuluan.....	39
5. Perubahan Kondisi Secara Fisik Kayu Apu Selama Penelitian.....	44
6. Data Penyusutan Air Pada Aquarium Percobaan Selama Penelitian.....	45
7. Data Hasil Konsentrasi Nitrat Pada Media Tanam.....	46
8. Data Laju Penurunan Nitrat Pada Media Tanam Selama Penelitian.....	49
9. Persentase Penurunan Kadar Senyawa Nitrat Pada Media Tanam Selama Penelitian.....	51
10. Sidik Ragam Konsentrasi Nitrat Pada Media Tanam.....	52
11. Data Hasil Kadar Ortofosfat Pada Media Tanam Selama Penelitian.....	54
12. Data Laju Penurunan Ortofosfat Pada Media Tanam Selama Penelitian.....	56
13. Persentase Penurunan Kadar Senyawa Ortofosfat Pada Media Tanam Selama Penelitian.....	57
14. Sidik Ragam Konsentrasi Ortofosfat Pada Media Tanam.....	60
15. Hasil Rata-Rata Oksigen Terlarut (DO) Pada Media Tanam.....	62
16. Hasil Rata-Rata pH Pada Media Tanam.....	65
17. Hasil Rata-Rata Suhu Pada Media Tanam.....	67
18. Hasil Rata-Rata Berat Basah Tanaman, RGR dan DT Pada Kayu Apu.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan Alir Pembuatan Tempe.....	13
2. Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L).....	16
3. Denah atau <i>Lay out</i> Aquarium Percobaan .....	27
4. Grafik Penurunan Kandungan Nitrat Selama 8 Hari pada Penutupan Kayu Apu yang Berbeda .....	48
5. Grafik Penurunan Kandungan Ortofosfat Selama 8 Hari pada Penutupan Kayu Apu yang Berbeda.....	55
6. Grafik Perubahan Oksigen Terlarut Selama Penelitian.....	63
7. Grafik Perubahan pH Selama Penelitian .....	66
8. Grafik Perubahan Suhu Selama Penelitian .....	69



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Pengukuran Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) Selama Penelitian .....	82
2. Data Pengukuran Derajat Keasaman/pH Selama Penelitian.....	85
3. Data Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut/DO Selama Penelitian.....	88
4. Data Hasil Pengamatan Ketinggian Air (cm) Pada Aquarium .....	91
5. Data Hasil Pengamatan Penurunan Kadar Nitrat Selama Penelitian.....	93
6. Data Hasil Pengamatan Penurunan Kadar Ortofosfat Selama Penelitian.....	99
7. Data Hasil Perhitungan <i>Relative Growth Rate</i> (RGR) dan <i>Doubling Time</i> (DT) Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	106
8. Dokumentasi Selama Proses Penelitian .....	107





## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri di bidang pangan dari masa ke masa telah mengalami perkembangan, salah satu industri tersebut adalah industri pembuatan tempe. Industri pembuatan tempe merupakan usaha yang didirikan dalam rangka pengembangan kegiatan di bidang pangan yang memberikan dampak positif dan negatif bagi lingkungan. Dampak positif dapat berupa pemenuhan kebutuhan masyarakat akan sumber pangan yang meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk sedangkan dampak negatifnya dari industri ini adalah limbah buangan yang berasal dari hasil pembuangan limbah padat (ampas) dan limbah cair (limbah hasil perebusan dan perendaman) dapat menimbulkan masalah pencemaran serta menimbulkan penyakit gatal, diare, gangguan pernafasan dan mual karena limbah cair yang berlendir dan bau tidak sedap. Mayoritas pabrik industri tempe ini berada di lokasi dekat dengan sungai supaya dengan mudah dalam proses pembuangan limbah ke sungai/parit.

Limbah cair adalah air yang tidak bersih dengan mengandung berbagai zat yang bersifat membahayakan kehidupan manusia atau hewan, yang pada umumnya muncul karena hasil dari kegiatan atau perbuatan manusia termasuk industri (Azwar, 1990 dalam Djohan dan Devy, 2013). Limbah cair yang dihasilkan dari proses perebusan dan perendaman kedelai ini mempunyai nilai TDS dan TSS yang jauh melewati standart baku mutu limbah cair. Menurut penelitian Wiryani (2006) besarnya kandungan TDS (Total Padatan Terlarut) sebesar 25.254 mg/l, kandungan TSS (Total Padatan Tersuspensi) 4.551 mg/l, kandungan BOD (Kebutuhan Oksigen Biologi) sebesar 31.380,87 mg/l dan kandungan COD (Kebutuhan Oksigen Kimiawi) sebesar 35.398,87 mg/l. Selain itu, limbah cair tempe merupakan salah satu limbah organik yang mengandung pati, lemak,

minyak dan protein serta mengandung cemaran anorganik yaitu ammonia, nitrat dan fosfat (Wignyanto *et al.*, 2009). Nitrat merupakan senyawa yang memegang peranan penting sebagai nutrisi untuk bahan makanan yang paling banyak diterima oleh tanaman karena senyawa ini lebih mudah diserap dan dapat digunakan dalam proses fotosintesis jika dibandingkan dengan senyawa lainnya (Purnamasari, 2014). Fosfor dalam tanaman penting di dalam pertumbuhan jaringan dan produksi tanaman. Fosfor yang sudah tidak terpakai keluar dari metabolisme dan disimpan sebagai asam fitat dimana diperlukan dalam masa dormansi pada biji dan umbi-umbian. Dedaunan tidak mengandung fosfor sebagai asam fitat, karena fosfor dalam daun selalu dalam bentuk aktif (Johnson dan Uriu, 1990).

Unsur hara seperti N dan P sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya. Tetapi apabila kadarnya berlebih dapat menyebabkan pencemaran dan eutrofikasi. Oleh karena itu, untuk meminimalisir hal tersebut maka diperlukan adanya suatu teknologi atau metode pengolahan air limbah yang ramah lingkungan, murah dan mudah diterapkan oleh masyarakat luas.

Salah satu teknologi atau metode alternatif yang dapat digunakan adalah dengan metode pengolahan secara biologi yaitu fitoremediasi dengan menggunakan tanaman sebagai agen hayati. Selain dengan pengolahan secara biologi, terdapat juga teknik-teknik pengolahan air buangan/air limbah yang telah dikembangkan yaitu pada pengolahan secara fisika bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan mudah mengendap atau bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak disisihkan terlebih dahulu supaya tidak mengganggu pada proses lainnya, proses penyisihan tersebut dinamakan flotasi. Sedangkan pada pengolahan secara kimia biasanya membutuhkan bahan kimia tertentu yang bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor dan zat organik

beracun, pengolahan kimia dapat memperoleh efisiensi yang tinggi akan tetapi biaya yang dibutuhkan mahal dan dapat menyebabkan adanya kontaminan baru dari bahan kimia yang digunakan (Tjokrokusumo, 1995). Namun dari ketiga metode tersebut yang dinilai paling efisien dalam menurunkan zat organik dalam air limbah yaitu dengan metode secara biologi karena biaya yang digunakan relatif murah, mudah dalam pengaplikasiannya, tanaman yang mudah didapatkan serta aman bagi lingkungan dan menguntungkan bagi ekosistem (Momon dan Meilani, 1997).

Salah satu tanaman air yang dapat dimanfaatkan yaitu kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) tanaman ini merupakan jenis gulma air yang sangat cepat tumbuh, mempunyai daya adaptasi terhadap lingkungan baru seperti kondisi iklim yang tinggi, mudah ditemukan serta dapat memfilter, mengadsorpsi partikel dan mengabsorpsi ion-ion baik organik, anorganik maupun logam yang terdapat dalam air limbah melalui akar, oleh sebab itu kayu apu dapat dimanfaatkan untuk melakukan penjernihan air.

## 1.2 Rumusan Masalah

Salah satu Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) yang ada di Kota Malang adalah industri tempe berskala rumah tangga (*home industry*) yang telah menjadi sentra oleh-oleh khas Kota Malang. Industri pembuatan tempe ini berada di Desa Sanan ini bagian dari UMKM mengalami perkembangan yang cukup baik. Di Sanan terdapat ± 387 pengrajin dari total penduduk yang ada di Desa yang tergabung dalam wadah koperasi produsen pembuatan tempe dan keripik Sanan yaitu Primkopti Bangkit Usaha. Limbah cair yang dihasilkan setiap harinya ± 200 liter. Berdasarkan uji pendahuluan diketahui bahwa limbah cair tempe di Sanan mengandung kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) sebesar 56,002 mg/l dan kadar ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sebesar 4,813 mg/l. Tingginya kadar nitrat dan ortofosfat tentunya

memberikan dampak negatif bagi lingkungan perairan di daerah tersebut, dimana limbah cair langsung dibuang pada saat malam hari tanpa pengolahan terlebih dahulu melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan ke sungai kecil yang mengalir menuju Sungai Brantas. Kondisi sungai di daerah tersebut dangkal, air keruh dan berbau apabila hal ini terus terjadi maka lingkungan perairan di daerah tersebut menjadi buruk serta dapat mengganggu kesehatan, oleh karena itu sebelum dibuang limbah cair tersebut harus diolah terlebih dahulu dengan menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dengan berbagai variasi penutupan tanaman sehingga unsur hara dapat berkurang.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

- untuk mengetahui pengaruh variasi penutupan permukaan air oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kandungan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) pada limbah cair tempe.
- untuk mengetahui pengaruh variasi penutupan permukaan air oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kandungan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe.

### 1.4 Hipotesis

- $H_0$  : Diduga bahwa perbedaan persentase penutupan kayu apu mempunyai pengaruh yang tidak berbeda dalam menurunkan kandungan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) di perairan.
- $H_1$  : Diduga bahwa perbedaan persentase penutupan kayu apu mempunyai pengaruh yang berbeda dalam menurunkan kandungan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) di perairan.

- $H_0$  : Diduga bahwa perbedaan persentase penutupan kayu apu mempunyai pengaruh yang tidak berbeda dalam menurunkan kandungan ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) di perairan.
- $H_1$  : Diduga bahwa perbedaan persentase penutupan kayu apu mempunyai pengaruh yang berbeda dalam menurunkan kandungan ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) di perairan.

### 1.5 Kegunaan Penelitian

Bagi masyarakat khususnya bagi pembuat tempe Sanan, Kota Malang hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi dengan cara memberikan penyuluhan mengenai efektivitas tanaman kayu apu yang dapat digunakan sebagai salah satu agen hayati untuk menurunkan kandungan nitrat ( $NO_3^-$ ) dan ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe.

### 1.6 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei - Juni 2015 di Laboratorium Reproduksi Gedung D Lantai 1 dan Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan (LBP) Gedung C Lantai 1 Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran

Dalam UU No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan PP RI No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan Kualitas air dan Pengendalian Pencemaran Air. Yang dimaksud dengan Pencemaran Air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Herlambang, 2006).

Pencemaran akan terjadi apabila dalam lingkungan hidup manusia terdapat suatu bahan dalam konsentrasi yang besar. Bahan tersebut dinamakan polutan atau kontaminan. Kontaminan yang mencemari air digolongkan ke dalam tiga kategori yaitu kimiawi, fisik dan hayati. Kontaminan-kontaminan tertentu dapat mempunyai pengaruh nyata terhadap kualitas air (Widyaningsih, 2012).

Air sebagai komponen lingkungan hidup dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh komponen lainnya. Air yang kualitasnya buruk akan mengakibatkan kondisi lingkungan hidup menjadi buruk sehingga akan mempengaruhi kondisi kesehatan manusia dan kehidupan makhluk hidup lainnya. Pencemaran air dapat disebabkan oleh kegiatan usaha atau dikenal dengan limbah cair maupun oleh sebab alami atau bencana alam. Berdasarkan cara pengamatan atau identifikasi pencemaran air, dapat diketahui dari parameter :

1. Secara Fisika, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan tingkat kejernihan air (kekeruhan), perubahan suhu air, perubahan rasa dan warna air.

2. Secara Kimia, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan zat-zat kimia yang terlarut dan perubahan derajat keasaman/pH.

3. Secara Biologi, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan mikroorganisme yang ada dalam air. Air yang telah tercemar dapat menimbulkan resiko berupa kerugian yang besar bagi manusia, yaitu :

- air menjadi tidak bermanfaat lagi, karena kualitasnya berubah maka peruntukan air pun berubah.
- air menjadi penyebab timbulnya penyakit, karena adanya zat-zat kontaminan dan bakteri dalam air dapat membahayakan kehidupan biota perairan serta kesehatan manusia yang berhubungan atau memanfaatkan air tersebut (Herawati, 2007).

Salah satu pencemaran lingkungan dapat disebabkan oleh adanya kandungan bahan anorganik yang muncul akibat peningkatan aktivitas manusia, industri yang pesat dan limbah yang berasal dari pertanian (Sheehan, 1987). Menurut Notodarmojo (2005) pencemaran air perlu dibatasi untuk menjaga agar lingkungan tetap bertahan.

Hal-hal yang harus selalu diperhatikan terlebih dahulu dalam mengatasi pencemaran yaitu kita mengumpulkan informasi salah satunya adalah harus mengetahui sumber pencemaran, bahan-bahan atau zat pencemar, sifat dan karakteristik bahan pencemar. Setelah itu, baru mengambil tindakan untuk menentukan metode atau tindakan konservasi yang efektif untuk mengatasi pencemaran. Pencemaran air akan sangat berpengaruh terhadap kondisi kesehatan dan ekosistem lingkungan perairan sehingga perlu dilakukan penggolongan atas kelas sumber air sebagai tindakan preventif atau pencegahan untuk perlindungan sumber air dari pencemaran dan panduan bagi penetapan baku mutu air limbah. Penetapan baku mutu air limbah harus memperhatikan kelas badan air penerima.

## 2.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan, mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan, karena tanaman mempunyai kemampuan menyerap logam dan mineral yang tinggi atau sebagai fitoakumulator dan fitochelator. Konsep pemanfaatan tumbuhan dan mikroorganisme untuk meremediasi sesuatu yang terkontaminasi polutan merupakan suatu pengembangan dalam teknik pengolahan limbah. Fitoremediasi dapat diaplikasikan pada limbah organik maupun anorganik dalam bentuk padat, cair, dan gas (Rossiana *et al.*, 2007).

Fitoremediasi dapat diartikan sebagai upaya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau *reactor* maupun *in-situ* (langsung di lapangan) pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Hardyanti dan Rahayu, 2006). Metode pengolahan limbah ini bertujuan untuk menurunkan, mengekstrak atau menghilangkan kontaminan dari tanah dan air (EPA, 2000). Tanaman air berperan sebagai aerator perairan melalui proses fotosintesis, mengatur aliran air, membersihkan aliran tercemar melalui proses sedimentasi serta penyerapan partikel dan mineral.

Teknologi mengolah limbah dengan sistem fitoremediasi, menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar. Limbah padat atau cair yang akan diolah ditanami dengan tanaman tertentu yang dapat menyerap, mengumpulkan, mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat di dalam limbah tersebut. Aplikasi fitoremediasi umumnya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan tingkat pencemaran sedang dengan nilai BOD < 300 mg/l (Safitri, 2009).

Di Kota Salatiga banyak sekali dijumpai tanaman air yang dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati terutama di daerah yang berbatasan dengan Rawapening, diantaranya eceng gondok (*Eichhornia* sp.), kayambang (*Salvinia* sp.), kayu apu (*Pistia* sp.), kangkung air (*Ipomea* sp.), genjer (*Limnocharis* sp.) dan lain sebagainya. Metode fitoremediasi ini memiliki beberapa keunggulan karena biaya yang diperlukan relatif murah, mudah dan efisien bila diaplikasikan oleh industri skala kecil dan menengah (Indah *et al.*, 2014).

### 2.3 Mekanisme Penyerapan Tanaman Air

Menurut Hardiani (2009) mekanisme penyerapan dan akumulasi limbah cair oleh tanaman secara umum dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yakni sebagai berikut :

1. Penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap polutan, maka polutan harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.
2. Translokasi polutan dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah polutan menembus endodermis akar, polutan atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya.
3. Lokalisasi polutan pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar polutan tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan limbah cair terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun polutan di dalam organ tertentu seperti akar. Pada masing-masing organ, polutan yang diserap segera diuraikan melalui proses metabolisme tumbuhan secara enzimatik. Proses ini disebut

fitodegradasi. Enzim yang berperan pada proses ini biasanya adalah *dehaloganases*, *oxygenases*, dan *reductases*. Besarnya akumulasi pada organ tanaman kayu apu terdapat selisih antara kemampuan daun dan akar. Menurut Ulfid dan Widya (2005) penyerapan terbesar terdapat pada bagian akar dan sedikit pada daun. Hal ini diduga bahwa kontak akar lebih lama dan langsung ke media terkandung zat pencemar dibanding daun. Akar kayu apu memiliki jejaring bulu akar yang banyak dan mampu mengkhelat polutan sehingga mudah diserap dan diakumulasi ke jaringan tanaman.

#### 2.4 Air Limbah

Air limbah atau limbah cair adalah air yang tidak bersih dengan mengandung berbagai zat yang bersifat membahayakan kehidupan manusia atau hewan, yang pada umumnya muncul karena hasil dari kegiatan atau perbuatan manusia termasuk industri (Azwar, 1990 dalam Djohan dan Devy, 2013). Limbah merupakan hasil sampingan dari suatu aktivitas yang sudah merupakan bahan buangan. Limbah juga dapat dikatakan sebagai materi atau komponen yang dapat berupa padatan (*solid wastes*), cair (*liquid wastes*), atau gas (*gaseous wastes*) yang dikeluarkan oleh suatu proses industri yang memiliki efek samping negatif (Sugiharto, 1987).

Efek samping yang ditimbulkan dari limbah diantaranya membahayakan kesehatan manusia karena pembawa penyakit, merugikan dalam segi ekonomi karena dapat menimbulkan kerusakan pada benda, bangunan maupun tanaman dan peternakan, merusak atau membunuh kehidupan dalam air seperti ikan, dapat merusak keindahan karena bau busuk serta pemandangan yang kotor. Limbah dapat berbentuk padat, cair maupun gas. Sumber air buangan/limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu limbah rumah tangga, limbah industri dan limbah rembesan. Air buangan atau limbah ini mengandung racun dan

membahayakan. Bila air buangan atau limbah tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan berbagai masalah atau dampak pada kehidupan makhluk hidup dan pencemaran lingkungan.

Pada umumnya limbah industri pangan dengan kandungan bahan organiknya yang tinggi merupakan sumber makanan untuk pertumbuhan mikroorganisme baik patogen maupun nonpatogen sehingga akhirnya sangat membahayakan kesehatan makhluk hidup (Janie dan Rahayu, 1993). Di dalam limbah cair terkandung zat-zat pencemar dengan konsentrasi tertentu dan apabila dimasukkan ke badan air dapat mengubah kondisi kualitas air baik secara fisika, kimia maupun biologinya. Kualitas air merupakan pencerminan kandungan konsentrasi makhluk hidup, energi, zat-zat, atau komponen lain yang ada dalam air. Limbah cair mempunyai efek negatif bagi lingkungan karena mengandung zat-zat beracun yang mengganggu keseimbangan lingkungan dan kehidupan makhluk hidup yang terdapat di dalamnya (Muhajir, 2013).

Pencemaran badan air yang disebabkan oleh unsur hara yang berlebih cenderung dapat mengakibatkan eutrofikasi (pengkayaan nutrien). Eutrofikasi merupakan masalah lingkungan yang diakibatkan oleh limbah dalam ekosistem air tawar yang menyebabkan kelebihan unsur hara yang dibutuhkan tumbuhan di perairan sehingga mampu meningkatkan produktivitas primer perairan (Effendi, 2003).

## **2.5 Limbah Organik**

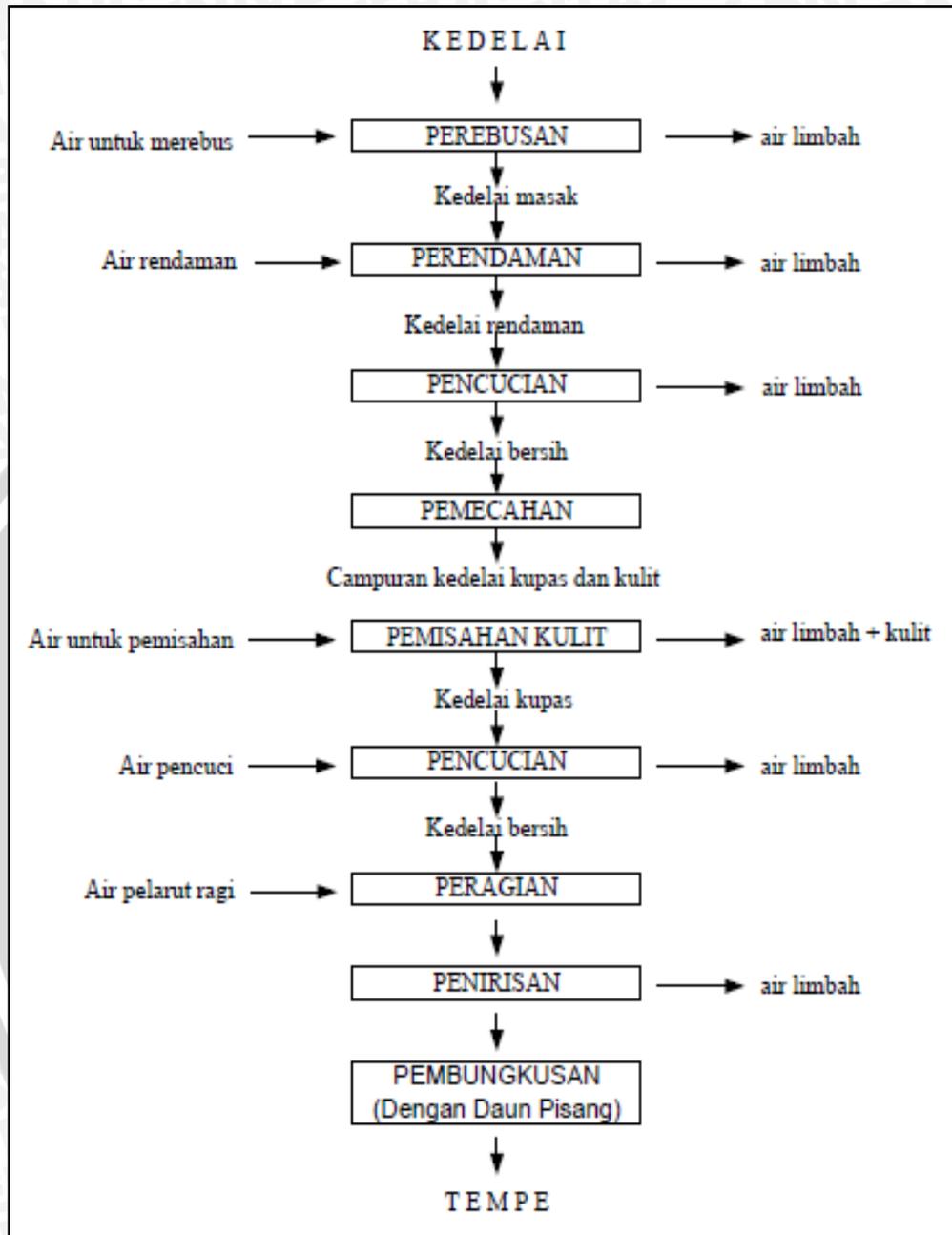
Limbah organik merupakan limbah yang mengandung bahan-bahan seperti karbohidrat, protein, lemak, minyak, detergen atau surfaktan protein, karbohidrat, dan lipida. Protein merupakan bahan dasar dari sel-sel binatang. Karakteristik yang diketahui dari protein adalah kandungan nitrogen di dalamnya, kandungan tersebut merupakan salah satu bahan penyusun utama dalam sel tumbuhan

selain itu kandungan karbohidrat juga mengandung selulosa (Siregar, 2005). Limbah organik biasanya akan cepat membusuk dan terdegradasi oleh mikroorganisme pengurai (dekomposer). Oleh karena itu, apabila limbah cair industri langsung dibuang ke dalam lingkungan perairan akan menambah populasi mikroorganisme di dalam air. Jika di perairan sudah tercemar oleh limbah organik berarti sudah terdapat cukup banyak mikroorganisme yang bersifat patogen di dalam air (Darmono, 1995).

Bahan organik bertindak sebagai penyangga biologi yang dapat mempertahankan ketersediaan unsur hara dalam jumlah yang seimbang bagi akar tanaman. Pada umumnya bahan organik tersusun atas unsur-unsur C, H, O tetapi ada beberapa bahan organik yang mengandung N, S, P dan Fe. Tingginya bahan organik dalam limbah cair akan menghambat dalam pengolahan limbah, karena ada beberapa zat yang akan sulit diuraikan oleh mikroorganisme (Rosiana, 2006 dalam Pratiwi, 2010).

Limbah organik dapat memberikan dampak yang buruk bagi kondisi maupun kualitas perairan baik secara fisika, kimia dan biologi. Kualitas air merupakan pencerminan kandungan konsentrasi makhluk hidup, energi, zat-zat, atau komponen lain yang ada dalam air seperti yang dikatakan Paramita *et al.*, (2012) pengaruh utama limbah organik yang masuk ke dalam air adalah menurunkan kandungan oksigen terlarut dan meningkatkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS) yang merupakan parameter utama untuk menduga adanya pencemaran air.

### 2.6 Proses Pembuatan Tempe dan Limbah yang Dihasilkan



Gambar 1. Bagan Air Pembuatan Tempe

Berdasarkan bagan diatas bahwa hampir disetiap tahap pembuatan tempe menghasilkan limbah. Komposisi kedelai dan tempe sebagian besar terdiri dari protein, karbohidrat dan lemak. Akibat nyata dari polutan organik adalah penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena dibutuhkan untuk

proses penguraian zat-zat organik. Pada perairan yang tercemar oleh bahan organik dalam jumlah yang besar, kebutuhan oksigen untuk proses penguraiannya lebih banyak dari pada suplai oksigen ke perairan, sehingga kandungan oksigen terlarut sangat rendah. Hal ini tentunya sangat membahayakan kehidupan organisme perairan tersebut. Sisa bahan organik yang tidak terurai secara aerob akan diuraikan oleh bakteri anaerob sehingga akan tercium bau busuk.

Pengembangan proses pembuatan tempe dalam skala menengah atau *pilot plant* telah dilakukan oleh Steinkraus *et al.*, (1965) dalam Winarno (1984) dengan menggunakan prinsip pembuatan secara tradisional. Bahan yang terbuang dalam proses pembuatan tempe yang berasal dari 1000 gram kedelai adalah sebesar 21,9% yang terdiri dari 8% kulit, 12,2% larut dalam proses perebusan dan 1,7% hilang pada proses inkubasi. Selama ini masih banyak para pembuat atau produsen tempe yang menggunakan air sungai untuk mencuci kedelai maupun untuk proses pelepasan kulit kedelai dengan cara menginjak injak kedelai yang sudah direbus setengah matang, supaya mudah lepas dan limbah tersebut langsung dibuang ke sungai. Pada proses pembuatan tempe diperlukan proses perebusan kedelai selama kurang lebih 30 (tiga puluh) menit kemudian dilakukan perendaman kedelai selama 24 (dua puluh empat) jam dan proses fermentasi selama 48 (empat puluh delapan) jam.

## 2.7 Limbah Cair Industri Tempe

Limbah cair yang berasal dari proses pembuatan tempe apabila tidak dikelola dengan baik dan langsung dibuang ke dalam perairan akan sangat mengganggu lingkungan disekitarnya. Hal ini dapat dibuktikan dengan terciumnya bau busuk disekitar lokasi pabrik tempe. Limbah cair dari proses perebusan dan perendaman kedelai, mempunyai nilai TDS dan TSS yang jauh melewati standar

baku mutu limbah cair. Pengaruh Padatan tersuspensi (TSS) maupun padatan terlarut (TDS) sangat beragam, tergantung dari sifat kimia alamiah bahan tersuspensi tersebut. Pengaruh yang berbahaya pada ikan, zooplankton maupun makhluk hidup yang lain pada prinsipnya adalah terjadinya penyumbatan insang oleh partikel partikel yang menyebabkan afiksiasi. Disamping itu juga adanya pengaruh pada perilaku ikan dan yang paling sering terjadi adalah penolakan terhadap air yang keruh, adanya hambatan makan serta peningkatan pencarian tempat berlindung. Pola yang ditemukan pada sungai yang menerima sebagian besar padatan tersuspensi, secara umum adalah berkurangnya jumlah spesies dan jumlah individu makhluk hidup (Connel dan Miller, 1995).

Limbah dari proses pembuatan tempe ini termasuk dalam limbah yang bersifat *biodegradable* yaitu limbah atau bahan buangan yang dapat dihancurkan oleh mikroorganisme. Senyawa organik yang terkandung didalamnya akan dihancurkan oleh bakteri meskipun prosesnya lambat dan sering diikuti dengan keluarnya bau busuk. Konsentrasi amoniak sebesar 0,037 mg/l sudah dapat menimbulkan bau amoniak yang menyengat. Dalam limbah domestik, sebagian besar nitrogen organik akan diubah menjadi amoniak pada pembusukan anaerobik dan menjadi nitrat atau nitrit pada pembusukan aerob (Mahida, 1986). Bahan buangan *biodegradable* merupakan nutrisi bagi tumbuhan air (Prawiro, 1988).

Terjadinya peningkatan eutrofikasi karena adanya kelebihan unsur hara. Salah satu unsur hara seperti nitrat dan ortofosfat dapat mengakibatkan daerah benthik kekurangan oksigen terlarut. Hal ini dapat menurunkan jumlah habitat yang sesuai untuk ikan dan dapat menyebabkan penurunan jumlah ikan secara keseluruhan (Connel dan Miller, 1995).

## 2.8 Tanaman Air Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Menurut Safitri (2009) kalsifikasi dari tanaman air kayu apu adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Arales
Famili	: Araceae
Genus	: Pistia
Spesies	: <i>Pistia stratiotes</i> L.



**Gambar 2. Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)**  
(Sumber :Wikipedia, 2015)

Tanaman kayu apu merupakan tanaman yang termasuk pada suku *Araceae* . familia *Salviniaceae* dari genus *Pistia*, dimana tumbuhan ini mengapung bebas di permukaan air. Daunnya berwarna hijau kekuningan, saling berdekatan dan saling tumpang tindih satu dengan lainnya, dapat berukuran kecil atau besar. Daun yang tumbuh di permukaan air berbentuk cuping agak melingkar, berklorofil sehingga berwarna hijau, dan permukaannya ditutupi rambut-rambut berwarna putih agak transparan. Rambut-rambut ini mencegah daun menjadi basah dan juga membantu kayu apu mengapung. Daun tipe kedua tumbuh di dalam air berbentuk sangat mirip akar, tidak berklorofil, dan berfungsi menangkap hara dari air seperti akar.

Kayu apu sendiri akarnya (dalam pengertian anatomi) tereduksi. Kayu apu tidak menghasilkan bunga karena termasuk golongan paku-pakuan. Sebagaimana paku air (misalnya semanggi air dan azolla) lainnya, kayu apu juga bersifat heterospor, memiliki dua tipe spora, yaitu makrospora yang akan tumbuh menjadi protalus betina dan mikrospora yang akan tumbuh menjadi protalus jantan. Kayu apu hanya membutuhkan lingkungan yang basah dan hangat, dan tidak memerlukan persyaratan khusus dalam pertumbuhannya. *Water lettuce* (*P.stratiotes*) tidak memiliki batang yang jelas dan bahkan tidak memiliki batang. Daun daunnya tersusun secara roset didekat akar, sehingga disebut roset akar. Daunnya merupakan daun tunggal, ujung daun membulat namun pangkal daun runcing. Tepi daun berlekuk-lekuk dan ditutupi dengan rambut tebal dan lembut. Panjang daun sekitar 2 hingga 10 cm sedangkan lebar daun sekitar 2 hingga 6 cm. Daun daun tebal dan lembut membentuk suatu pahatan seperti mahkota bunga mawar dan sedikit kenyal. Pertulangan daun sejajar, dimana tulang daun tipis dan terselubung. Daun berwarna hijau kadang kebiruan bila sudah tua agak berwarna kuning.

Bunga berada di tengah roset dan tumbuh berwarna putih namun tidak begitu jelas. Bunga bertipe bunga tongkol dan terletak di ketiak daun di tengah roset. Bunga merupakan bunga berumah satu. Panjang bunga kurang lebih 1 cm, memiliki rambut dan dilindungi oleh seludang, serta bunga bersembunyi sehingga tidak nampak jelas. Perkembangbiakan yang dilakukan selain generatif, juga dapat terjadi secara vegetatif, yang dilakukan dengan menghasilkan stolon. Membran pada bunga memisahkan antara bunga jantan dan bunga betina. Buah dari bunga apu-apu merupakan buah buni. Buah berbentuk bulat dan berwarna merah, dengan ukuran 5 hingga 8 cm. Sedangkan biji dari tumbuhan ini berbentuk bulat, berwarna hitam, dan berukuran kecil. Ukuran biji 2 mm, dengan sisi membujur dan ujung meruncing. Akar jumbai

panjang berwarna putih, yang menggantung di bawah roset yang mengambang bebas di sepanjang saluran air, akar memiliki stolon. Rambut-rambut akarnya membentuk suatu struktur berbentuk seperti keranjang dan dikelilingi gelembung udara, sehingga meningkatkan daya apung tumbuhan itu. Akar dapat tumbuh panjang hingga mencapai 80 cm (Estiarana, 2001).

Kayu apu dapat membentuk biji yang dapat berkecambah bila tersedianya oksigen yang cukup namun pada umumnya perkembangbiakan terjadi melalui organ vegetatif yaitu dengan membentuk stolon (Aphrodyanti, 2007). Tanaman air ini termasuk *floating aquatic plant* seperti tanaman eceng gondok. Tanaman kayu apu banyak dijumpai pada kolam-kolam air tawar, menempati permukaan dari perairan tersebut, karena tanaman ini tergolong *floating aquatic plant*. Akar tanaman terurai pada lapisan atas perairan dan sangat potensial untuk menyerap bahan-bahan yang terlarut pada bagian tersebut (Yusuf, 2001).

Menurut Safitri (2009) tanaman kayu apu memiliki banyak kelebihan seperti sebagai pakan ternak, obat dan pupuk. Majid (2002) menyatakan kayu apu dapat berperan sebagai sumber pupuk organik. Penelitian Irfan dan Shardendu (2009) menunjukkan bahwa kayu apu dapat digunakan sebagai penyerap unsur nitrogen di alam, seperti terlihat pada kandungan nitrogen kayu apu. Arisandi (2006) menyatakan kandungan C organik dan N total yang cukup tinggi pada kayu apu, yaitu 40.5% dan 1.8% diharapkan mampu menyumbang unsur hara ke dalam tanah sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik.

Kayu apu banyak ditumbuhkan di kolam-kolam ikan, karena udang dan anak ikan sangat senang hidup dan berlindung dibawah tanaman tersebut. Selain itu, tanaman ini dipercaya mempunyai khasiat sebagai pelembut dan penyejuk, obat disentri, haematurie, antiseptik, insektisida dan obat asma. Kemampuan mencengkeram Lumpur dengan berkas-berkas akarnya kadang dimanfaatkan sebagai pembersih air sungai yang sangat kotor. Dalam industri tanaman ini

digunakan sebagai penyerap unsur-unsur toksis pada air limbah. Tanaman ini mampu menurunkan unsur P yaitu 12 % per minggu dengan penyerapan kadar awal 0,493 mg/l setiap minggunya.

Menurut Nuriasasmita (2012) tumbuhan *Pistia stratiotes* diketahui berasal dari Afrika Selatan dan Amerika Selatan. Namun tumbuhan tersebut ditemukan juga hampir diseluruh negara beriklim tropis. Hal ini disebabkan karena Kayu apu atau yang lebih dikenal dengan *water lettuce* ini bisa bertahan dikondisi lingkungan yang kotor dan basah karena mempunyai kemampuan akumulasi logam dan non organik lainnya di dalam sistem perakarannya. Selain itu, tanaman ini mempunyai keunggulan seperti daya berkecambah yang tinggi, pertumbuhan cepat, tingkat absorpsi atau penyerapan unsur hara dan air yang besar, mudah ditemukan, dan daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim (Fachrurozi, 2010).

### 2.9 Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )

Nitrat pada umumnya merupakan nitrogen anorganik yang terdiri dari Ammonia ( $\text{NH}_3$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dan molekul  $\text{N}_2$  dalam bentuk gas yang paling banyak di ekosistem perairan, sedangkan nitrogen organik berupa protein, asam amino dan urea sangat sedikit ditemukan dalam perairan. Meskipun begitu, dilihat dari konsentrasinya jumlah nitrogen dalam bentuk nitrat sangat kecil, yaitu kurang lebih 0,3 mg/l pada perairan yang tidak tercemar. Pada perairan yang mengalami banjir atau tercemar oleh bahan organik, maka kandungan nitratnya akan meningkat secara nyata (Hasan, 1993 dalam Hidayat, 2001). Nitrat adalah senyawa yang digunakan sebagai bahan makanan yang diterima tanaman, nitrat memegang peranan penting dalam nutrisi. Faktor lingkungan yang mempengaruhi konsentrasi nitrat dalam suatu tanaman diantaranya yaitu intensitas cahaya dan suhu udara (Novasari, 2011).

Menurut Effendi (2003) dalam Elfinurfajri (2009) senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*. Menurut Suryadiputra (1995) di dalam kondisi anaerob sekelompok golongan bakteri fakultatif anaerob menggunakan nitrit dan nitrat sebagai terminal penerima elektron nitrat nitrogen diubah menjadi gas nitrogen dalam kondisi tidak ada oksigen dalam air (Proses denitrifikasi anoksik). Selain itu, intensitas cahaya juga mempengaruhi terhadap fluktuasi harian dari konsentrasi nitrat. Menurut Novasari (2011) kebutuhan cahaya untuk mengaktifkan nitrat reduktase dapat dilihat dari fluktuasi harian dari konsentrasi nitrat, dan peningkatan konsentrasi nitrat berkaitan dengan intensitas cahaya.

Kebanyakan tanaman tingkat tinggi mengambil nitrogen dari tanah dalam bentuk ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) atau ion nitrat ( $\text{NH}_3^+$ ). Nitrat merupakan bentuk yang paling sesuai dan banyak diambil oleh tanaman. Sebelum digunakan oleh tanaman, nitrat harus diubah terlebih dahulu menjadi amonium di dalam tanaman sebelum membentuk asam amino dan senyawa nitrogen lainnya. Proses reduksi nitrat menjadi nitrit maupun nitrit menjadi ion amonium memerlukan cahaya matahari. Aktivitas enzim nitrat reduktase meningkat dengan adanya cahaya matahari yang bekerja melalui proses fotosintesis (Pratiwi, 2010).

### 2.10 Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Fosfat berbeda dengan nitrat, diserap oleh partikel tanah dan tidak bergerak dengan mudah oleh air tanah. Fosfor tidak dibutuhkan dalam jumlah yang banyak oleh tanaman untuk pertumbuhannya, tidak seperti karbon, oksigen,

hidrogen dan nitrogen. Akan tetapi fosfor merupakan salah satu elemen pembatas baik di dalam tanah maupun di perairan tawar, karena fosfor sangat jarang ditemukan dan terkandung dalam batuan dengan jumlah yang sedikit, selain itu fosfor terikat secara reaktif pada beberapa jenis tanah. Secara umum ada tiga bentuk fosfor di ekosistem akuatik, yaitu fosfat terlarut, fosfat total terlarut dan fosfor partikulat. Fosfat di perairan baik dalam bentuk organik maupun anorganik. Bentuk anorganik fosfat sebagian besar adalah ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), dan sebagian lagi terdapat dalam bentuk monofosfat ( $\text{HPO}_4^-$ ) dan dihidrogen fosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) (Apridayanti, 2008). Fosfor yang terdapat dalam air limbah adalah fosfat dalam bentuk ortofosfat dan polifosfat (Janie dan Rahayu, 1993).

Ortofosfat merupakan fosfor dalam bentuk anorganik yang dapat langsung dimanfaatkan dan mudah diserap oleh organisme autotrof untuk pertumbuhannya. Ortofosfat merupakan bagian dari total fosfat. Bila kadar ortofosfat dalam air rendah ( $< 0,01 \text{ mg/l}$ ) maka pertumbuhan fitoplankton dan organisme autotrof lainnya akan terhambat (Apriadi, 2008).

Peranan fosfor sangat khusus di dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fosfor yang cukup akan mempercepat pertumbuhan akar. Penambahan fosfor dapat meningkatkan bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan tinggi tanaman. Selain itu, fosfor juga berperan dalam memperbanyak akar halus dan akar rambut sehingga semakin banyak pupuk fosfor, akan semakin banyak akar pada tanaman (Gumail, 1999).

Fosfat terdapat dalam tiga bentuk yaitu  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , dan  $\text{PO}_4^{3-}$ . Fosfat umumnya diserap oleh tanaman dalam bentuk ion ortofosfat primer  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  atau ortofosfat sekunder  $\text{HPO}_4^{2-}$  sedangkan  $\text{PO}_4^{3-}$  lebih sulit diserap oleh tanaman. Pada pH lebih rendah, tanaman lebih banyak menyerap ion ortofosfat primer, dan pada pH yang lebih tinggi ion ortofosfat sekunder yang lebih banyak diserap

oleh tanaman (Hanafiah, 2005). Kekurangan fosfor pada tanaman dapat menyebabkan tajuk daun berwarna hijau gelap, selain itu membentuk warna merah atau ungu, tepi daun bercabang, pada batang terdapat warna merah ungu dan lama kelamaan lambat laun menjadi berwarna kuning (Lakitan, 2007).

## **2.11 Parameter Kualitas Air Pendukung**

### **2.11.1 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)**

Oksigen terlarut merupakan variabel kimia yang mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan biota akuatik sekaligus menjadi faktor pembatas bagi kehidupan biota. Daya larut oksigen dapat berkurang disebabkan naiknya suhu air dan meningkatnya salinitas. Konsentrasi oksigen terlarut di pengaruhi oleh proses respirasi biota akuatik dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Pengaruh ekologi lain yang menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut menurun adalah penambahan zat organik (buangan organik) (Connel dan Miller, 1995 dalam Wijayanti, 2007).

Di perairan tawar, kadar oksigen terlarut berkisar antara 15 mg/l pada suhu 0°C dan 8 mg/l pada suhu 25°C. Kadar oksigen terlarut di perairan dipengaruhi oleh proses aerasi, fotosintesis, respirasi, dan oksidasi limbah. Semua limbah yang dioksidasi, terutama limbah domestik termasuk dalam kategori limbah penyebab penurunan kadar oksigen terlarut. Oksigen sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme pada ekosistem perairan. Sumber oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktivitas fotosintesis oleh fitoplankton dan tumbuhan air (Effendi, 2003).

### **2.11.2 Suhu**

Cahaya matahari yang masuk ke perairan akan mengalami penyerapan dan perubahan menjadi energi panas. Proses penyerapan cahaya ini berlangsung secara lebih intensif pada lapisan atas sehingga lapisan atas perairan memiliki

suhu yang lebih tinggi dan densitas yang lebih kecil dari pada lapisan bawah. Kondisi ini pada perairan tergenang akan menyebabkan terjadinya stratifikasi thermal pada kolom air (Effendi, 2003). Diantara faktor iklim, suhu merupakan salah satu faktor yang mempunyai peranan utama dalam proses pertumbuhan karena suhu dapat pula mempengaruhi aktifitas metabolisme tanaman. Ada tiga fungsi fisiologis yang dipengaruhi oleh suhu, yaitu metabolisme, asimilasi dan pernafasan.

Menurut Dewi *et al.*, (2013) peningkatan suhu berpengaruh terhadap tingkat penyerapan nutrisi termasuk ortofosfat karena suhu berkaitan dengan proses metabolisme dan fotosintesis. Selain itu, jika semakin tinggi suhu lingkungan tanaman maka semakin tinggi pula tingkat penyerapan oleh tanaman, dimana suhu lingkungan akan menyebabkan proses fotosintesis meningkat, sehingga penyerapan nutrisi oleh tanaman juga akan meningkat.

Suhu mempengaruhi tanaman dalam beberapa aktivitas fisiologi tanaman seperti pertumbuhan akar, serapan unsur hara dan air dalam tanah, fotosintesis, respirasi dan translokasi fotosintat (Lenisastris, 2000). Suhu udara dan atau suhu tanah berpengaruh terhadap tanaman melalui proses metabolisme dalam tubuh tanaman, yang tercermin dalam berbagai karakter seperti laju pertumbuhan, dormansi benih dan kuncup serta perkecambahan, pembungaan, pertumbuhan buah dan pematangan jaringan atau organ tanaman.

Suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman kayu apu berkisar antara 20-32°C. Faktor lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan adalah pH, yakni kisaran pH optimum antara 6-7,5. Pertumbuhan dari tumbuhan kayu apu ini dapat dilihat apabila tanaman tersebut sudah cukup dewasa, dari ketiak daun akan muncul batang kecil yang tumbuh menjulur dan pada ujungnya muncul anak kayu apu (*runner*). Anak kayu apu ini memiliki akar sendiri dan akan tumbuh sebagai tumbuhan air yang baru (Ismanto, 2005).

### 2.11.3 Derajat Keasaman/ pH

pH merupakan nilai yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air. Nilai pH suatu perairan dapat mencerminkan keseimbangan antara asam dan basa dalam perairan tersebut. Nilai pH dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain aktivitas biologi, suhu, kandungan oksigen dan ion-ion. Dari aktivitas biologi dihasilkan gas CO<sub>2</sub> yang merupakan hasil respirasi. Gas ini akan membentuk ion buffer atau penyangga untuk menjaga kisaran pH di perairan agar tetap stabil (Prescod, 1979 dalam Prasetyo dan Kusumaningrum, 2006).

Derajat keasaman air menurut Ghufran dan Kordi (2010) menunjukkan aktivitas ion hidrogen yang terdapat di larutan dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mol perliter) pada suhu tertentu, dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

Air murni (H<sub>2</sub>O) bersosiasi sempurna sehingga memiliki ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> dalam konsentrasi yang sama dan dalam keadaan demikian, pH air murni yaitu 7. Semakin meningkat konsentrasi H<sup>+</sup>, semakin rendah konsentrasi ion OH<sup>-</sup> dan pH < 7, perairan menjadi asam. Sebaliknya, jika konsentrasi OH<sup>-</sup> yang tinggi pH > 7 menyebabkan perairan bersifat basa. Perairan umum dengan aktivitas fotosintesis dan respirasi organisme yang hidup di dalamnya membentuk reaksi rantai karbonat-karbonat sebagai berikut:



Apabila karbondioksida/CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada proses respirasi semakin banyak, reaksi bergerak ke kanan dan secara bertahap melepaskan ion H<sup>+</sup> yang mengakibatkan pH air menurun. Reaksi sebaliknya terjadi dengan aktivitas fotosintesis yang membutuhkan banyak ion CO<sub>2</sub> sehingga pH air mengalami peningkatan.

Menurut Sudarwin (2008) banyak tanaman air yang dapat bertahan hidup dengan pH berkisar antara 6,5-7,4. Akan tetapi tidak semua tanaman air hidup pada kisaran itu melainkan tergantung dari jenis tanaman itu sendiri. Air dapat bersifat asam atau basa tergantung pada besar kecilnya pH air atau besarnya konsentrasi ion hidrogen di dalam air. Menurut Holm *et al.*, (1977) tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) akan tumbuh baik pada nilai pH > 4, tidak akan tumbuh pada nilai pH 3 dan pertumbuhan akan mengalami perlambatan pada setiap kisaran pH yang melebihi nilai optimum.

### 2.12 Analisis Pertumbuhan Tanaman

Analisis pertumbuhan yang biasanya digunakan untuk mengestimasi pertumbuhan tumbuhan air dan alga yaitu dengan menggunakan konsep laju pertumbuhan dan waktu penggandaan (*Doubling Time*). *Doubling time* merupakan suatu konsep yang dapat menunjukkan pertumbuhan kinetik mikrobiologi pada kultur bakteri dan alga yang sering mengalami perubahan tiap waktu (Mitchell, 1974 *dalam* Febrianty, 2011). Waktu penggandaan (*Doubling Time*) adalah waktu yang dibutuhkan oleh alga atau tanaman untuk menggandakan biomasnya menjadi dua kali lipat. Penentuan *Doubling Time* dapat dicari dengan mengetahui terlebih dahulu nilai laju pertumbuhan relatif atau *Relative Growth Rate* (RGR).

Laju pertumbuhan relatif (RGR) merupakan peningkatan materi per unit materi yang ada per unit waktu. Laju pertumbuhan relatif dapat juga dikatakan sebagai peningkatan bahan organik per hari (Mitchell, 1974 *dalam* Febrianty, 2011). Laju pertumbuhan merupakan bagian dari produktivitas, laju pertumbuhan yang besar dan waktu penggandaan yang cepat dapat menunjukkan produktivitas alga yang tinggi dan sebaliknya.

### 3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dan limbah cair tempe yang didapatkan dari usaha skala rumah tangga/home industry tempe Sanan, Kota Malang.

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran dan analisa baik parameter utama maupun parameter pendukung dalam penelitian ini, rincian alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Alat dan Bahan dalam Penelitian**

No.	Parameter yang Diukur	Alat dan Bahan	Unit Satuan
1.	Derajat Keasaman/pH	pH meter aquadest, air limbah	Asam atau Basa
2.	Oksigen Terlarut	DO meter aquadest, air limbah	mg/l
3.	Biomassa kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )	Timbangan digital, kayu apu	Gram (gr)
4.	Suhu	Termometer digital, aquadest, air limbah	°C
5.	Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe	Spektrofotometer, hot plate, beaker glass, gelas ukur, spatula, erlenmeyer, pipet volume, pipet tetes, cuvet, dan cawan porselen air sampel, asam fenol disulfonik, $\text{NH}_4\text{OH}$ , $\text{SnCl}_2$ , Ammonium molybdat, aquadest, tissue, kerak nitrat	mg/l
6.	Penurunan kadar Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada limbah cair tempe	Aquarium ukuran 60 x 30 x 30 cm <sup>3</sup> , air limbah, kayu apu	liter

### 3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Tersarang. Rancangan Tersarang adalah suatu eksperimen dengan sifat bahwa taraf faktor yang satu tersarang dalam faktor lain, sehingga tidak akan ada interaksi antara dua faktor.. dan merupakan rancangan percobaan dengan materi homogen atau tanpa peubah pengganggu, terdiri dari dua peubah bebas atau faktor dalam klasifikasi tersarang yaitu Faktor A terdiri dari a taraf dan Faktor B terdiri dari b taraf yang tersarang (tergantung) dari pada Ai. Rancangan ini seolah-olah terdiri dari dua atau lebih Rancangan Acak Lengkap yang responsnya sama kemudian digabung menjadi satu model percobaan. Dalam penelitian ini terdiri dari 5 jenis perlakuan yang berbeda yaitu perlakuan penutupan permukaan air dengan menggunakan satu jenis tanaman air yaitu kayu apu (*Pistia stratiotes*). Adapun variasi penutupan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% sebagai kontrol (tanpa perlakuan tanaman) dengan pengulangan masing - masing sebanyak 3 (tiga) kali sehingga dibutuhkan 15 (lima belas) aquarium dalam penelitian ini. Pengukuran konsentrasi nitrat dan ortofosfat dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali selama 8 (delapan) hari penelitian.

Adapun penempatan denah atau *lay out* aquarium percobaan yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara acak dengan menggunakan software *Ms. Excel 2010*, tata letak penempatan aquarium dapat dilihat pada

**Gambar 3**

C3	D3	K2	B2	A2
A1	D1	D2	B3	C1
K1	C2	K3	B1	A3

**Gambar 3. Denah atau Lay out Aquarium Percobaan**

**Keterangan :**

- Bak A** : perlakuan penutupan kayu apu 100%,  
**Bak B** : perlakuan penutupan kayu apu 75%,  
**Bak C** : perlakuan penutupan kayu apu 50%,  
**Bak D** : perlakuan penutupan kayu apu 25%,  
**Bak K** : Tanpa tanaman kayu apu (Kontrol)  
**1,2,3** : Ulangan

**3.3 Tahapan dalam Penelitian****a. Persiapan Aquarium**

Menyiapkan aquarium yang terbuat dari bahan kaca dan memiliki ukuran  $60 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ , jumlah aquarium yang digunakan sebanyak 15 (lima belas) aquarium. Volume media (air limbah) yang dibutuhkan untuk setiap aquarium adalah sebanyak 10 liter serta ketinggian air sebesar 5,8-6,0 cm dengan konsentrasi limbah sebesar 5% yang didapatkan pada hasil penelitian pendahuluan sehingga perbandingan limbah dengan air sumur sebesar 0,5 liter : 9,5 liter.

**b. Persiapan Limbah Cair Tempe**

Menyiapkan limbah cair yang didapatkan dari *home industry* tempe Sanan Kota Malang, limbah cair tempe ini diambil dengan menggunakan jerigen berkapasitas 35 liter. Limbah cair tempe yang digunakan merupakan limbah cair perendaman akhir yang memiliki bau busuk dan berbusa dibandingkan dengan limbah perebusan dan perendaman awal. Selain itu, limbah hasil perebusan dan perendaman awal tidak dibuang ke sungai melainkan dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak sapi yang berada di daerah sekitar pabrik tempe Sanan. Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah cair yang masih segar.

### c. Proses Sortir Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Tanaman kayu apu didapatkan dari daerah persawahan sekitar Jalan Soekarno Hatta, Kota Malang dekat hotel Sahid Montana dan di daerah persawahan Singosari Kabupaten Malang. Tanaman kayu apu yang diperoleh dari suatu populasi dicuci bersih, kemudian dipilih tanaman kayu apu yang berdaun hijau segar dan mempunyai ukuran homogen. Menurut Ikawati *et al.*, (2013) tanaman yang digunakan adalah tanaman dengan memiliki kriteria berdaun segar, berwarna hijau, jumlah daun 5-7 helai, daun yang masih segar, dengan tinggi 8-12 cm, tinggi dan berat/ukuran masing-masing individu tanaman kayu apu harus dipastikan relatif sama atau dianggap homogen (Zubair *et al.*, 2014). Setelah itu tanaman tersebut ditimbang biomassa atau berat basah dengan menggunakan timbangan digital sesuai dengan perlakuan penutupan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 100%, 75%, 50%, 25%, dan 0% sebagai kontrol.

### d. Aklimatisasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Kayu apu yang telah dipilih atau disortir, kemudian dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran yang menempel, setelah itu sebelum dilakukan penelitian tanaman diaklimatisasi terlebih dahulu. Aklimatisasi dilakukan dengan mengadaptasikan tanaman selama 3 (tiga) hari dengan menggunakan air di dalam kolam-kolam kecil dengan menggunakan air bersih sebelum dipindahkan ke dalam bak-bak aquarium percobaan. Tujuan dilakukannya aklimatisasi adalah untuk mengatur kondisi tanaman agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah yang akan digunakan, untuk mengurangi kotoran- kotoran dan organisme yang menempel pada akar-akar pada tanaman air tersebut (Ikawati *et al.*, 2013).

**e. Proses Memasukkan Tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) kedalam Aquarium Percobaan**

Tanaman kayu apu yang telah diaklimatisasi dan ditimbang sebelumnya ( $W_0$ ), dimasukkan ke dalam aquarium yang telah diisi dengan limbah cair tempe yang sudah diencerkan dengan air sumur/PDAM, kemudian aquarium ditempatkan pada areal semi terbuka yang cukup terlindung dari cahaya matahari dan air ketika hujan, selain itu diberi pelindung agar terhindar dari perubahan cuaca dengan diberi atap/terpal yang dapat merubah kandungan zat yang terdapat dalam limbah cair tempe sehingga terjadi kontaminasi.

**f. Perlakuan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) ke dalam Aquarium Percobaan**

**1. Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan dilakukan bertujuan untuk menentukan titik kritis media tanam pada konsentrasi tertentu terhadap kondisi tanaman kayu apu serta kemampuannya untuk beradaptasi pada media tanam. Dalam penelitian pendahuluan ini digunakan konsentrasi yang berbeda yaitu 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% sehingga pada penelitian pendahuluan ini hanya dibutuhkan 4 aquarium dengan perlakuan konsentrasi limbah yang berbeda dan 1 (satu) bak aquarium digunakan sebagai kontrol (tanaman diberi air biasa tanpa campuran limbah cair tempe). Setelah diukur dan diencerkan dengan menggunakan air PDAM sesuai dengan konsentrasi limbah yang ditentukan, tanaman kayu apu yang telah diaklimatisasi kemudian dimasukkan ke dalam aquarium berukuran 60 x 30 x 30 cm<sup>3</sup> yang telah diisi limbah cair tempe yang sudah diencerkan dengan konsentrasi yang berbeda, kemudian dimasukan kayu apu dengan masing-masing memiliki berat  $\pm$  300 gr (Hermawati *et al.*, 2005) yang memiliki kondisi fisik yang bagus sebagai biomassa yang digunakan dalam penelitian pendahuluan. Adanya perbedaan konsentrasi pada penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing konsentrasi terhadap

kondisi tanaman untuk bertahan hidup dilihat dari keadaan fisik atau morfologinya dengan melihat perubahan warna pada daun tanaman kayu apu. Setelah didapatkan konsentrasi yang sesuai dengan kondisi dan kemampuan tanaman kayu apu dalam penelitian pendahuluan, lalu konsentrasi limbah cair tempe sebesar 5% dengan rasio limbah cair tempe pekat sebesar  $\frac{1}{2}$  liter dan air PDAM sebanyak 9,5 liter, digunakan sebagai konsentrasi limbah cair sebagai media tanam tumbuhan pada penelitian utama.

## 2. Penelitian Utama

Hasil dari penelitian pendahuluan didapatkan bahwa konsentrasi 5% merupakan konsentrasi yang paling sesuai untuk tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) bertahan hidup dan merubah warna daun yaitu pada waktu selama 8 (delapan) hari sehingga digunakan dalam penelitian utama. Selanjutnya pembuatan media tanam dengan dilakukan pengenceran pada limbah cair tempe pada konsentrasi yang telah didapatkan yaitu sebesar 5% dengan menambahkan air PDAM sampai dengan 10 liter pada masing-masing aquarium.

Tanaman kayu apu yang sudah diaklimatisasi serta ditimbang biomasnya sesuai dengan perlakuan penutupan tanaman yaitu (100%, 75%, 50%, 25% dan 0% sebagai kontrol) dimasukkan ke dalam masing-masing aquarium percobaan. Pada kepadatan 100% dibutuhkan sebanyak 30-32 rumpun kayu apu, kepadatan 75% dibutuhkan sebanyak 27-28 rumpun kayu apu, pada kepadatan 50% dibutuhkan sebanyak 15-16 rumpun kayu apu, kepadatan tanaman kayu apu 25% dibutuhkan sebanyak 8-9 rumpun kayu apu. Setelah ditentukan banyaknya tanaman sesuai perlakuan dan ditimbang kayu apu yang telah diaklimatisasi kemudian dimasukkan tanaman tersebut dimasukkan ke dalam masing-masing aquarium berukuran  $60 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$  yang telah diisi limbah cair tempe yang sudah diencerkan dengan konsentrasi sebesar 5%.

Untuk parameter kualitas air meliputi oksigen terlarut, suhu dan derajat keasaman/pH diukur setiap hari pada pukul 06.00 WIB, 12.00 WIB dan 18.00 WIB dan analisis kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan kadar ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sebagai parameter utama dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali selama 8 (delapan) hari penelitian. Menurut Salisbury dan Rose (1992) bahwa setiap 2 (dua) hari terjadi pertumbuhan maksimum pada tumbuhan. Selain itu, pada hari tersebut terjadi laju penyerapan paling tinggi oleh tanaman air. Maka dapat dikatakan pengambilan sampel pada 2 (dua) hari sekali untuk mengetahui kadar nitrat dan ortofosfat yang diserap oleh tumbuhan air dimana kedua unsur hara tersebut digunakan oleh tanaman tersebut untuk proses pertumbuhannya dan dilakukan penelitian selama 8 (delapan) hari, hal ini sesuai dengan penelitian pendahuluan yang telah dilakukan bahwa pada konsentrasi limbah cair tempe sebesar 5% tanaman kayu apu dapat bertahan hidup selama 8 (delapan) hari. Kemudian pada akhir penelitian biomassa atau berat basah dari tanaman kayu apu ditimbang kembali dan dianggap sebagai ( $W_t$ ).

### **3.4 Prosedur Pengukuran Kualitas Air Pada Media Limbah Cair Tempe**

Pada pengukuran dan analisa kadar nitrat dan ortofosfat yang terkandung dalam limbah cair tempe dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Gedung C Lantai 1 dan pengukuran parameter pendukung seperti suhu, derajat keasaman/pH dan oksigen terlarut dilakukan di Laboratorium Reproduksi Gedung D lantai 1 Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang.

#### **a. Prosedur Pengukuran Nitrat (Boyd, 1982)**

- 1) Menyaring 12,5 ml air sampel dan menuangkan ke dalam cawan porselin.
- 2) Menguapkan di atas pemanas sampai kering hati-hati jangan sampai pecah dan mendinginkan.

- 3) Menambahkan 0,5 ml asam fenol disulfonik, aduk dengan pengaduk gelas dan encerkan dengan 5 ml aquadest.
- 4) Menambahkan dengan meneteskan  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1:1) sampai terbentuk warna. Encerkan dengan aquadest sampai 12,5 ml. Kemudian masukkan dalam cuvet.
- 5) Membandingkan dengan larutan standar pembanding yang telah dibuat, baik secara visual atau dengan spektrofotometer (pada panjang gelombang 410  $\mu\text{m}$ ).

#### **b. Prosedur Pengukuran Ortofosfat (SNI, 1990)**

- 1) Mengukur dan menuangkan 25 ml sampel ke dalam erlenmeyer 50 ml
- 2) Menambahkan 0,5 ml ammonium molybdat dan dikocok
- 3) Menambahkan 2 tetes  $\text{SnCl}_2$  dan dikocok
- 4) Menghitung nilai orthoposfat dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 690  $\mu\text{m}$ .

#### **c. Oksigen Terlarut (Suprpto, 2011)**

- 1) Memasukan probe ke dalam kotak kalibrasi yang terdapat pada bagian belakang atas dimana alat dalam keadaan spons basah/lembab untuk mengkalibrasi.
- 2) Menyalakan tombol power dan biarkan  $\pm 3 - 5$  menit sampai dalam keadaan stabil.
- 3) Menekan tombol secara bersamaan lalu lepaskan lagi tombol bertanda panah ke atas dan ke bawah.
- 4) Menekan mode sampai terbaca % oksigen.
- 5) Menaikan atau menurunkan nilai altitude dengan menggunakan tombol tanda panah ke atas dan ke bawah sampai sesuai dengan nilai altitude dan tekan Enter.

- 6) DO meter siap digunakan, memasukan probe ke perairan.
- 7) Menyalakan DO meter, ditunggu sampai angka stabil dimana angka atas menunjukkan nilai DO (oksigen terlarut) dan mencatat hasilnya.

**d. Suhu (Syamsurisal, 2011)**

- 1) Membilas probe dengan aquadest/dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada ujung probe, jika tidak ada rendamlah dengan aquadest selama 30 menit.
- 2) Menyalakan DO meter, nilai DO terletak pada bagian atas layar sedangkan indikator suhu terletak pada bagian pojok kanan bawah dari layar.
- 3) Mencilupkan probe pada sampel air dan biarkan beberapa saat sampai stabil. Ketika mencelupkan probe pada sampel, pastikan bahwa ujung probe tercelup semua kedalam air sampel, dan pastikan jangan sampai ada gelembung udara karena apabila hal itu terjadi maka dapat menyebabkan kesalahan dalam pembacaan nilai.
- 4) Membaca nilai suhu ketika DO meter sudah stabil, lalu akan muncul "READY" dan sampel sudah bisa dibaca nilainya ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- 5) Menekan tombol "HOLD" untuk mengunci nilai suhu yang terbaca. Tekan "HOLD" lagi untuk melepaskan kuncinya.

**e. Derajat Keasaman/pH (Suprpto, 2011)**

- 1) Melakukan kalibrasi pH meter dengan menggunakan larutan buffer atau aquadest.
- 2) Memasukkan pH meter ke dalam air sampel selama 2 menit
- 3) Menekan tombol "HOLD" pada pH meter untuk menghentikan angka yang muncul pada pH meter.
- 4) Mencatat nilai pH yang tertera di pH meter.

### 3.5 Analisis Parameter Pertumbuhan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

- 1) Analisis parameter dari pertumbuhan tanaman kayu apu dengan menentukan besarnya laju pertumbuhan relatif (Relative Growth Rate/RGR).

Sebagaimana dijelaskan oleh Gaudett dalam Mitchell (1974) berikut ini :

$$RGR = \frac{\ln X_t - \ln X_0}{t}$$

#### Keterangan :

$X_t$  : Bobot basah setelah waktu ke-t (gram)

$X_0$  : Bobot basah awal (gram)

t : Waktu (hari)

RGR : Pertumbuhan spesifik harian (%)

- 2) Adapun waktu kemampuan tanaman kayu apu untuk melakukan pembelahan menjadi individu baru (*Doubling Time*), menurut Haridjaja *et al.*, (2014) sebagai berikut :

$$DT = \frac{\ln 2}{RGR}$$

- 3) Penentuan penyusutan air pada media tanam dengan melihat dari ketinggian air pada saat awal penelitian digunakan rumus : penyusutan air (cm) = ketinggian air pada awal – ketinggian air pada akhir
- 4) Penentuan persentase penurunan kandungan nitrat dan ortofosfat didapatkan dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Penurunan (\%)} = \frac{\text{kandungan awal sampel (mg/l)} - \text{kandungan akhir sampel (mg/l)}}{\text{kandungan awal sampel (mg/l)}} \times 100\%$$

### 3.6 Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah model umum dari Rancangan Acak Lengkap (RAL) Tersarang. Apabila dari sidik ragam diketahui bahwa perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata (*significant*) atau beda sangat nyata (*highly significant*), maka dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk membandingkan nilai antar perlakuan dan waktu dalam perlakuan. Adapun rumus umum dari Rancangan Acak Lengkap (RAL) yaitu sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha + \beta_{ji} + \epsilon_{(ij)k}$$

#### Keterangan:

- I = 1,2,..... a  
 J = 1,2,..... b  
 k = 1,2,..... c  
 y<sub>ijk</sub> = nilai pengamatan level ke-j yang bersarang dalam level ke-l pada ulangan ke-k  
 μ = nilai tengah umum  
 α<sub>i</sub> = pengaruh faktor A pada level ke-i  
 β<sub>j(i)</sub> = pengaruh faktor B pada level ke-j yang bersarang pada faktor A level ke-i  
 ε<sub>(ij)k</sub> = galat percobaan untuk ulangan ke-k pada faktor B level ke-j yang bersarang pada faktor A level ke-i.

Data yang didapatkan dari hasil penelitian, kemudian dianalisis secara statistik dengan menggunakan analisis keragaman (ANOVA) sesuai dengan rancangan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Analisis

keragaman (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari setiap perlakuan terhadap respon yang diukur dengan uji F pada taraf 5% dan 1%. Model tersebut sesuai dengan sidik ragam dari RAL Tersarang pada **Tabel 2** berikut:

**Tabel 2. Sidik Ragam (ANOVA) RAL Tersarang**

Sumber Keragaman	Db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-hitung	F-tabel (5%, 1%)
Perlakuan	a-1	JKP	KTP	KTP/KTG	F (α, db-p, db-g)
Waktu dalam Perlakuan	a(b-1)	JKA	KTW(A)	KTW/KTG	F (α, db-p, db-g)
Galat	ab(r-1)	JKG	KTG		
Total	abr-1	JKT	JKT		

Sumber : Hanafiah, 1991

Penarikan kesimpulan dilihat dari tabel ANOVA. Kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

- Jika nilai  $F_{hitung} >$  nilai  $F_{tabel}$  5% dan 1% maka tolak  $H_0$ , berarti minimal ada satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 dan 0,01
- Jika nilai  $F_{hitung} <$  nilai  $F_{tabel}$  5% dan 1% maka terima  $H_0$ , berarti tidak ada perlakuan yang memberikan pengaruh berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 dan 0,01

Jika ditemukan hasil berbeda nyata, maka untuk melihat yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata, maka dilakukan uji t BNT (Beda Nyata Terkecil) pada taraf 5% dan 1%.

Uji BNT menurut Bonifasius dan Nainggolan (2009) didasarkan pada banyaknya pasangan perlakuan yang dibandingkan dalam satu percobaan. Jika hasil analisis keragaman atau sidik ragam ternyata berbeda nyata atau berbeda sangat nyata maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui

perbedaan antar perlakuan sehingga didapatkan urutan perlakuan terbaik dengan menggunakan rumus:

$$BNT = ta/2 \times \sqrt{2KTS/n}$$

**Keterangan:**

BNT : beda nyata terkecil

ta/2 : nilai t tabel pada selang kepercayaan  $\alpha/2$  ( $\alpha = 0,05$ ;  $\alpha = 0,01$ )

KTS : kuadrat tengah sisa

n : jumlah ulangan

Kemudian tabel BNT yang merupakan tabel selisih harga rata – rata terbesar → terkecil atau sebaliknya, tergantung parameter yang diamati. Kemudian dibandingkan dengan nilai BNT 5% dan 1% dengan ketentuan:

- Bila selisih < BNT 5% → n.s (*non significant*), berarti tidak berbeda nyata
- Bila BNT 5% < selisih < BNT 1% → \* berarti berbeda nyata
- Bila selisih BNT > 1% → \*\* berarti berbeda sangat nyata

Ditentukan notasinya dengan ketentuan notasi sama apabila hasilnya tidak berbeda nyata seperti pada **Tabel 3**.

**Tabel 3. Tabel Beda Nyata Terkecil (BNT)**

Rata – rata perlakuan	Kecil → besar	Notasi
Kecil ↓ Besar		



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

Berdasarkan penelitian pendahuluan, diketahui bahwa kayu apu (*Pistia stratiotes*) didalam konsentrasi yang berbeda mengalami perubahan warna pada daun. Tujuan dari penelitian pendahuluan yaitu untuk menentukan konsentrasi yang sesuai untuk kayu apu bisa bertahan hidup selama 8 (delapan) hari penelitian. Berdasarkan kondisi fisik dari kayu apu, hasil yang didapat disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4. Kondisi Secara Fisik Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Selama Penelitian Pendahuluan**

Konsentrasi media tanam	Kondisi Secara Fisik Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.)
5%	Pada hari ke-2 mulai muncul stolon namun daun mengalami perubahan warna menjadi kekuningan di tepi setiap helai daun pada hari ke-8
10%	Pada hari ke-2 mulai muncul stolon namun daun mengalami kekuningan pada hari ke-7 dan pada hari ke-8 daun mulai rapuh/mudah terlepas
15%	Daun mengalami perubahan warna kekuningan pada hari ke-5 dan tanaman mulai layu/lemas
20%	Daun mengalami perubahan warna kekuningan pada hari ke-3 disertai kerontokan pada akar dan layu pada hari ke-4
25%	Menjadi warna kuning agak kecoklatan pada hari ke-2 dan kering selain itu daun dan akar menjadi rapuh/ mudah terlepas

Sumber : Data Primer

Dari hasil studi pendahuluan diperoleh hasil pada konsentrasi media tanam dengan pengenceran air limbah 5% kondisi fisik kayu apu pada hari ke-2 mulai muncul individu baru pada setiap rumpunnya, warna daun masih hijau sampai

hari ke-7 akan tetapi pada hari ke-8 warna daun menjadi kekuningan di tepi setiap helai daunnya pada setiap rumpun. Pada konsentrasi 10% hari ke-2 mulai tumbuh individu baru hampir pada setiap rumpunnya, akan tetapi daun mulai mengalami perubahan warna menjadi kuning pada hari ke-7 dan pada hari ke-8 daun mulai rapuh/mudah terlepas. Pada konsentrasi 15% daun mulai mengalami perubahan warna kekuningan dan daun mulai layu pada hari ke-5, lalu pada konsentrasi 20% daun mengalami perubahan warna kekuningan pada hari ke-3 jika dibandingkan dengan konsentrasi 5%, 10% dan 15% perubahan warna yang terjadi pada konsentrasi ini lebih cepat, kerontokan pada akar mulai terjadi dan kayu apu layu dan rapuh pada hari ke-4. Pada konsentrasi 25% warna daun menjadi kuning kecoklatan pada hari ke-2 dan daun mulai kering dan rapuh, selain itu akar-akar juga mulai mengalami kerontokkan. Hal ini disebabkan oleh limbah cair tempe yang digunakan sangat kental dan mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi sehingga menyebabkan kandungan ammonia ( $\text{NH}_3$ ) pun tinggi.  $\text{NH}_3$  memiliki ukuran molekul yang kecil sehingga dapat menembus sel membran dengan cepat melalui proses difusi tanpa diserap (Gopal dan Sharma, 1981 dalam Sandriati, 2010).

Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan pada tanaman kayu apu dapat disimpulkan bahwa tanaman kayu apu masih dapat tumbuh selama 8 (delapan) hari dengan konsentrasi pengenceran limbah cair 5%. Media tanam dengan konsentrasi 5% merupakan media yang paling sesuai dan mempunyai waktu yang paling lama untuk tanaman kayu apu bertahan hidup.

#### **4.2 Karakterisasi Limbah Cair Tempe yang Digunakan dalam Penelitian**

Limbah cair tempe yang digunakan dalam penelitian ini diambil langsung dari pusat industri rumah tangga (*home industry*) pembuatan tempe yang berlokasi di daerah Sanan, Kota Malang. Limbah cair tersebut merupakan hasil dari proses

perendaman akhir setelah proses pemasakan kedelai yang berupa cairan kental berbusa, memiliki bau asam dan berwarna kuning. Dimana limbah perendaman akhir tersebut biasanya dibuang langsung ke sungai oleh produsen tanpa pengolahan terlebih dahulu oleh produsen pembuatan tempe lewat saluran pipa-pipa yang telah dibuat untuk dialirkan ke parit/sungai kecil, dimana parit/sungai kecil tersebut mengalir menuju sungai Brantas.

Karakteristik dari limbah cair tempe sebelum dilakukan pengenceran adalah mempunyai nilai suhu  $24,5^{\circ}\text{C}$ , pH 5,65 dan DO 3,16 mg/l. Limbah cair pekat ini berwarna putih agak kuning kekeruhan, berbusa serta berbau serta memiliki kandungan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) 56,002 mg/l dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 4,813 mg/l. Pada limbah cair tempe yang telah dilakukan pengenceran dengan konsentrasi limbah pekat 5% dengan perbandingan  $\frac{1}{2}$  liter air limbah dan 9,5 liter air sumur/PDAM didapatkan suhu  $22,8^{\circ}\text{C}$ , pH 6,04 dan DO 3,64 mg/l. Limbah cair setelah pengenceran berwarna putih agak kuning kekeruhan, berbusa, berbau, kandungan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) 5,588 mg/l dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 1,770 mg/l. Kandungan nitrat dan ortofosfat pada limbah dengan konsentrasi 5% tergolong masih tinggi dan dapat menyebabkan pencemaran dan kesuburan perairan meningkat.

Menurut Wetzel (1975) dalam Widiyati (2010) bahwa senyawa nitrogen dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesuburan pada perairan, kondisi perairan dengan kandungan nitrat 0 mg/l-1,0 mg/l termasuk perairan miskin (oligotrof) atau tingkat kesuburan rendah, kondisi perairan dengan kandungan nitrat sebesar 1,0 mg/l-5,0 mg/l dan kandungan sebesar 5,0 mg/l-50,0 mg/l termasuk kedalam perairan mesotrof dan eutrof yaitu tingkat kesuburan sedang dan tinggi. Tingkat kesuburan berdasarkan kadar posfat menurut Wardoyo (1982) dalam Patty (2013) kandungan posfat pada kadar sebesar 0,001-0,002 mg/l termasuk kedalam perairan kurang subur, kandungan posfat pada kadar sebesar 0,051-0,100 mg/l termasuk kedalam perairan yang subur, pada kandungan kadar

sebesar 0,101-0,200 mg/l termasuk kedalam perairan sangat subur dan pada kadar sebesar > 0,201 mg/l termasuk kedalam perairan yang sangat subur sekali (eutrofikasi/kesuburan tinggi).

#### 4.3 Kondisi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Sebelum dan Selama Penelitian

Keadaan awal tanaman kayu apu sebelum penelitian dilakukan memiliki daun yang berwarna hijau segar tidak kering. ukurannya relatif homogen dan memiliki kondisi akar yang lebat. bagus serta sehat. Pada saat penelitian berlangsung. tanaman kayu apu yang digunakan mulai mengalami perubahan secara fisik, hal tersebut menandakan bahwa tanaman kayu apu sedang menyesuaikan diri dengan lingkungan baru (adaptasi) yakni dengan media tanam air limbah tempe pada aquarium percobaan. Adaptasi tanaman dengan lingkungan tersebut ditunjukkan dengan adanya perubahan secara bertahap dari hari ke hari selama penelitian seperti perubahan yang terjadi pada kondisi akar dan daun pada masing-masing perlakuan tanaman.

Didapat hasil dari penelitian utama yaitu terjadi perubahan kondisi secara fisik dari tanaman kayu apu selama 8 (delapan) hari. Daun tanaman kayu apu pada awalnya (hari ke-1) berwarna hijau segar berubah menjadi hijau kekuning-kuningan pada hari ke-5, hal ini sebanding dengan lamanya waktu proses penyerapan nutrisi oleh tanaman tersebut sehingga kandungan nutrisi dan zat yang bersifat toksik pada limbah cair tempe dapat berkurang. Selain itu, warna kuning pada daun kayu apu dapat disebabkan karena sudah tidak adanya ruang kosong pada media tanam yang menyebabkan proses perkembangbiakan tanaman menjadi terganggu. Menurut Fachrurrozi (2010) warna kuning pada daun Kayu Apu disebabkan ruang kosong untuk berkembang dalam media sudah tidak ada sehingga kemampuan tanaman tersebut bertahan hidup menjadi berkurang dan akhirnya cepat menguning. Haslam (1997) mengatakan bahwa perubahan

warna daun menjadi kekuningan pada beberapa spesies dapat disebabkan oleh pencemaran bahan organik. Tumbuhnya akar dan tunas baru mungkin sebagai cara tumbuhan ini untuk tetap bertahan hidup. Kemudian pada akar juga mulai mengalami kerontokan dan berwarna agak hitam pada hari ke-7 meskipun jumlah kerontokannya sangat sedikit pada akhir penelitian. Hal ini dapat disebabkan karena akar merupakan organ pertama dan berada di bagian bawah sehingga akarlah yang pertama kali berinteraksi secara langsung pada air limbah. Kerontokan ini merupakan respon dari tanaman kayu apu terhadap kandungan  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  yang sangat tinggi dari luar tubuh tumbuhan terutama bagi tanaman yang hidup di air (Dewi *et al.*, 2013). Selain itu, terjadinya penyusutan air limbah pada bak-bak media tanam kayu apu yang diukur setiap 2 (dua) hari sekali, hal ini sesuai dengan Menurut Salisbury dan Rose (1992) bahwa setiap 2 (dua) hari terjadi pertumbuhan maksimum pada tumbuhan dan terjadi laju penyerapan paling tinggi oleh tanaman air.

Pada perlakuan penutupan 100% terjadi penyusutan air berkisar antara 0,13-0,2 cm, pada perlakuan penutupan 75% terjadi penyusutan air berkisar antara 0,08-0,15 cm, pada perlakuan penutupan 50% terjadi penyusutan air berkisar antara 0,1-0,2 cm, pada perlakuan penutupan 25% terjadi penyusutan air berkisar antara 0,07-0,13 cm dan pada perlakuan penutupan 0% terjadi penyusutan air berkisar antara 0,07-0,13 cm. Penyusutan air ini dilihat dari ketinggian air limbah pada bak-bak aquarium percobaan, terjadinya penyusutan air pada media tanam disebabkan karena terjadinya proses penguapan dan proses penyerapan nutrisi oleh akar tanaman kayu apu serta mikroorganisme lainnya yang ada di air limbah tempe ini. Selain terjadi perubahan kondisi fisik tanaman kayu apu dan penyusutan pada air limbah, selama penelitian berlangsung juga terjadi perubahan warna pada air limbah. Pada hari pertama penelitian warna air pada seluruh perlakuan masih keruh meskipun tidak sepekat

dan sekeruh pada saat hari ke-0 (awal penelitian). Kemudian pada hari kedua pada perlakuan penutupan 100% dan 75% warna air lebih bening dan pada perlakuan penutupan 50% warna air mulai bening, air pada perlakuan ini lebih bening jika dibandingkan dengan air pada perlakuan penutupan 25% dan 0% air masih agak keruh dan sedikit pekat. Pada hari berikutnya sampai hari kedelapan terus terjadi perubahan pada perlakuan penutupan tanaman air menjadi lebih bening dan terdapat sedikit gumpalan kuning yang berada diatas permukaan air limbah sementara dibawah permukaan warna air bening dan tidak pekat. Gumpalan tersebut berasal dari air limbah tempe yang memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Terjadinya perubahan warna air itu menandakan bahwa tanaman kayu apu dapat menyerap nutrien dan penjernih air. Gambar dari tanaman kayu apu selama penelitian (lihat **Lampiran 8**) dan perubahan kondisi secara fisik tanaman kayu apu dan penyusutan air limbah pada aquarium disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

**Tabel 5. Perubahan Kondisi Secara Fisik Tanaman Kayu Apu (*P.stratiotes*) Selama Penelitian**

Hari ke-	Kondisi secara fisik tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )
1	Daun masih hijau segar dan akar belum ada yang mengalami kerontokan
2	Banyak tumbuh stolon/tunas/individu baru dan daun masih berwarna hijau segar
3	Daun masih berwarna hijau segar akar tidak mengalami kerontokkan
4	Mulai berwarna kekuningan pada bagian tepi pada 1 helai daun di beberapa rumpun tanaman
5	Mulai adanya perubahan warna pada tepi daun
6	Daun masih hijau segar tetapi pada tepi daun mengalami kekuningan namun tidak mendominasi
7	Daun mulai berubah warna menjadi kekuningan dan pada beberapa rumpun tanaman mengalami kerontokkan pada bagian akar
8	Daun mulai ada yang jatuh dan terjadi kerontokkan akar pada sebagian besar tiap rumpun tanaman, akar berubah warna menjadi menghitam

Tabel 6. Data Penyusutan Air Pada Aquarium Percobaan Selama Penelitian

Lama Hari	Penyusutan Air Pada Aquarium (cm)				
	Penutupan 100%	Penutupan 75%	Penutupan 50%	Penutupan 25%	Penutupan 0%
2	0,13	0,14	0,1	0,07	0,1
4	0,14	0,08	0,2	0,13	0,1
6	0,2	0,15	0,1	0,1	0,13
8	0,13	0,096	0,1	0,1	0,1

#### 4.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam

Nitrat merupakan salah satu bentuk nitrogen yang terlarut di dalam perairan dan merupakan unsur hara atau nutrisi yang dibutuhkan oleh organisme akuatik salah satunya adalah tanaman air untuk pertumbuhannya. Kemampuan tanaman dalam menurunkan kandungan senyawa nitrat pada media tanam ditunjukkan dengan adanya perubahan konsentrasi selama 8 (delapan) hari pengamatan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan tingkat konsentrasi senyawa nitrat pada penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% terus mengalami penurunan dari konsentrasi awal sebesar 5,588 mg/l hingga secara berturut-turut menjadi 2.231 mg/l; 1.525 mg/l; 1.023 mg/l; 2.368 mg/l; dan 3,292 mg/l.

Fotosintesis merupakan aktivitas yang dapat mempengaruhi proses penyerapan nutrisi atau unsur hara, aktivitas fotosintesis dipengaruhi oleh suhu ketersediaan  $\text{CO}_2$ , unsur hara dan air. Persaingan untuk mendapatkan  $\text{CO}_2$  akan meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan tanaman. Proses fotosintesis tidak akan berjalan dengan maksimal dan dapat berpengaruh pada proses penyerapan nitrat yang akan semakin menurun ketika perlakuan kepadatan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) 100%. Begitupun sebaliknya, kepadatan atau perlakuan penutupan tanaman yang terlalu rendah yaitu perlakuan penutupan 25% juga akan mempengaruhi proses penyerapan nitrat, karena jumlah kepadatan tanaman yang terlalu sedikit sehingga ketersediaan

karbondioksida yang dibutuhkan untuk fotosintesis lebih sedikit, sehingga proses fotosintesis tidak berjalan dengan maksimal dan berpengaruh pula terhadap proses penyerapan dan penurunan konsentrasi nitrat dalam air limbah. Sedangkan komposisi jumlah kepadatan tanaman kayu apu pada penutupan 50% merupakan kombinasi terbaik jika dibandingkan dengan perlakuan penutupan 25% sehingga proses penyerapan dan penurunan kandungan nitrat pada perlakuan 50% dapat berjalan secara maksimal. Menurut Pusat Litbang PU Sumberdaya Air (2008) tanaman kayu apu mampu menurunkan unsur N yaitu 25% per minggu dengan penyerapan kadar awal 0,847 mg/l setiap minggunya. Hasil laju penurunan nitrat pada media tanam dapat dilihat pada **Tabel 7**.

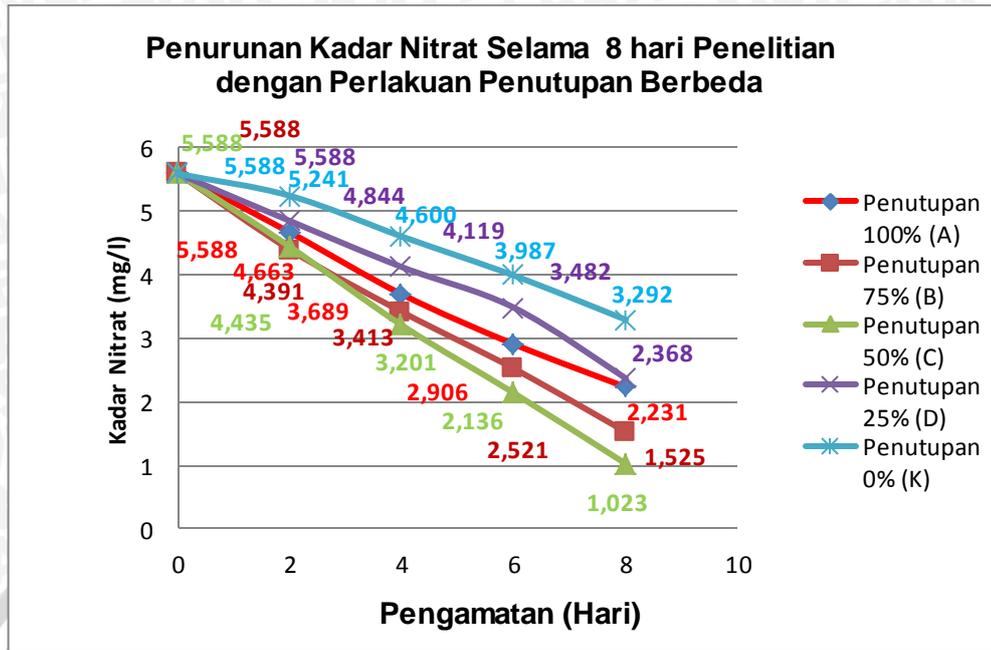
**Tabel 7. Data Hasil Konsentrasi Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam**

Lama Hari	Kandungan Nitrat Dalam Limbah Cair Industri Tempe (mg/l)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
0	5.588	5.588	5.588	5.588	5.588
2	4.663	4.391	4.435	4.844	5.241
4	3.689	3.413	3.201	4.119	4.600
6	2.906	2.521	2.136	3.482	3.987
8	<b>2.231</b>	<b>1.525</b>	<b>1.023</b>	<b>2.368</b>	<b>3.292</b>

Proses penurunan senyawa nitrat ini mulai terjadi pada hari kedua. Penurunan senyawa nitrat paling rendah terjadi pada penutupan 0% dan paling tinggi terjadi pada perlakuan penutupan 50%. Hal ini disebabkan karena tanaman kayu apu memiliki sistem perakaran yang baik, akar kayu apu memiliki bulu-bulu akar yang mampu menyerap nutrisi. Akar kayu apu memiliki jejaring bulu akar yang banyak dan mampu mengkhelat polutan sehingga mudah diserap dan diakumulasi ke jaringan tanaman (Ulfin dan Widya, 2005). Sistem perakaran yang baik (perakaran lebat berbentuk seperti benang, banyak rambut akar) akan mampu menyerap unsur hara dengan baik pula. Tanaman apu-apu mempunyai keunggulan dibandingkan dengan tumbuhan lain seperti daya berkecambah

yang tinggi, pertumbuhan cepat, tingkat absorpsi atau penyerapan unsur hara dan air yang besar, mudah ditemukan dan daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim. Sedangkan perakaran yang tidak baik (matinya akar) akan menghambat penyerapan unsur hara. Kemampuan mencengkeram lumpur dengan berkas-berkas akarnya kadang dimanfaatkan sebagai pembersih sungai yang sangat kotor (Ni'ma, 2014).

Pada penutupan 0% tidak diberikan perlakuan tanaman kayu apu sehingga penurunan kandungan nitrat bisa jadi hanya diakibatkan oleh mikroba dan adanya organisme seperti fitoplankton saja, selain itu ketersediaan oksigen terlarut pada perlakuan ini terbilang lebih rendah jika dibandingkan dengan kandungan oksigen pada perlakuan yang diberikan tanaman kayu apu karena oksigen terlarut yang didapatkan hanya dari difusi udara saja, sedangkan oksigen terlarut ini merupakan komponen sangat penting dalam proses dekomposisi bahan organik. Menurut Fachrurrozi *et.al.*, (2010) menyatakan bahwa pada perlakuan kontrol (tanpa pemberian *Pistia stratiotes* L.) oksigen terlarut yang digunakan untuk mendekomposisi bahan organik dalam air limbah tersedia dalam jumlah yang sedikit dan hanya mendapat suplai dari udara atau lingkungan luar saja. Hasil analisa penurunan konsentrasi nitrat pada media tanam selama 8 (delapan) hari penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4** berikut



**Gambar 4. Grafik Penurunan Kandungan Nitrat Selama 8 Hari pada Penutupan Kayu Apu yang Berbeda**

Laju penurunan konsentrasi nitrat selama 8 (delapan) hari pada tanaman kayu apu terus mengalami peningkatan. Pada perlakuan penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% laju penurunan mengalami peningkatan berturut-turut sebanyak 23,282%; 39,495%; 52,115%; 32,009%; dan 17,433%. Dari tabel diatas diperoleh juga laju penurunan paling tinggi mulai dari hari kedua sampai hari kedelapan terdapat pada perlakuan penutupan 50% secara berturut-turut didapatkan persentase sebesar 20,623%; 27,829%; 33,281%; dan 52,115% serta laju penurunan paling rendah terdapat pada penutupan 0% secara berturut-turut sebesar 6,210%; 12,218%; 13,339%; dan 17,433%. Tingginya kandungan nitrat pada saat awal penelitian dikarenakan adanya proses dekomposisi dan mineralisasi, sedangkan pada akhir penelitian didapatkan hasil menurunnya kandungan nitrat disebabkan nitrat dimanfaatkan oleh tanaman kayu apu untuk tumbuh. Tingginya konsentrasi nitrat disebabkan oleh adanya proses dekomposisi dan mineralisasi pada limbah cair tempe dan terjadi penurunan

dikarenakan adanya pemanfaatan senyawa tersebut oleh kedua tanaman untuk pertumbuhannya (Purnamasari, 2014). Hasil laju penurunan konsentrasi senyawa nitrat dapat dilihat pada (Tabel 8 dan Lampiran 5).

**Tabel 8. Data Laju Penurunan Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Lama Hari	Laju Penurunan Nitrat Pada Media Tanam (%)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
2	16,548	21,422	20,623	13,315	6,210
4	20,895	22,259	27,829	14,954	12,218
6	21,209	26,143	33,281	15,464	13,339
8	<b>23,282</b>	<b>39,495</b>	<b>52,115</b>	<b>32,009</b>	<b>17,433</b>

Tanaman kayu apu mempunyai kemampuan untuk menyerap unsur hara termasuk nitrat karena kemampuan mencengkeram lumpur dengan berkas-berkas akarnya akarnya berupa akar serabut yang terurai panjang. Akar tersebut merupakan bagian yang paling penting pada proses transpirasi yang akan berpengaruh pada besarnya proses penyerapan senyawa-senyawa yang ada dalam air limbah cair tempe. Akar tanaman berupa akar serabut, terurai pada lapisan atas perairan dan sangat potensial untuk menyerap bahan-bahan yang terlarut pada bagian itu (Yusuf, 2001). Menurut Dewi (2012) luas permukaan daun dan panjang akar mempengaruhi transpirasi yang kemudian berhubungan dengan besarnya penyerapan. Jumlah luas penampang akar tanaman yang bersinggungan juga mempengaruhi penyerapan maksimal terhadap bahan organik. Semakin banyak terjadinya persinggungan diantara akar-akar tanaman. Proses penyerapan tidak akan terjadi secara maksimal karena luas permukaan yang bersinggungan langsung dengan air media tanam akan berkurang pada tingkat kepadatan tanaman yang tinggi. Sehingga dapat dikatakan bahwa kombinasi jumlah kepadatan tanaman kayu apu dalam perairan akan mempengaruhi besarnya jumlah kandungan bahan organik.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan persentase penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media dengan penutupan 100%, 75%, 50% dan 25% yang ditanami tanaman terus mengalami peningkatan dari hari ke hari. Hal ini dikarenakan adanya penurunan nitrat pada setiap harinya selama penelitian berlangsung. Persentase nitrat yang hilang pada media tanam sampai hari ke-8 secara berturut-turut didapatkan sebesar 60,07%; 72,71%; 81,69%; 54,76%; dan 41,09% dari konsentrasi awal. Persentase penurunan kadar nitrat paling tinggi terdapat pada perlakuan penutupan 50%, sedangkan persentase penurunan kadar nitrat terendah terdapat pada perlakuan penutupan 0% (kontrol). Selain dipengaruhi oleh akar, proses penyerapan nitrat oleh kayu apu juga dapat dipengaruhi oleh jumlah luas penampang yang terdapat pada daun. Semakin banyak jumlah dan besarnya ukuran tanaman aktivitas akar yang saling bersinggungan akan semakin tinggi sehingga proses penyerapan nitrat tidak berjalan dengan maksimal. Begitupun sebaliknya, semakin sedikit jumlah kepadatan tanaman kayu apu yang diberikan proses penyerapan nitrat akan rendah.

Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa penyerapan nitrat yang paling baik diantara semua perlakuan yaitu perlakuan penutupan 50%, hal ini dikarenakan komposisi banyaknya jumlah tanaman yang digunakan tidak terlalu banyak dan tidak juga terlalu sedikit (seimbang) sehingga persinggungan antar akar tanaman tidak terjadi begitu besar sehingga akar pada tanaman kayu apu dapat berinteraksi dengan media air limbah terjadi secara maksimal. Menurut Susilaningih (1992) fungsi akar bagi tumbuhan sebagai alat pertautan tumbuhan dengan substrat dan berfungsi sebagai penyerap unsur-unsur hara serta mengalirkannya ke batang dan daun. Selain itu, akar berfungsi sebagai organ penyerap dan penyalur unsur-unsur hara ke bagian lain. Sehubungan dengan fungsi tersebut maka akar akan banyak menyerap unsur hara sehingga

akumulasi logam akan lebih tinggi di akar dibandingkan dengan batang dan daun (Zubair *et al.*, 2014). Persentase penurunan konsentrasi senyawa nitrat dapat dilihat pada **Tabel 9** berikut

**Tabel 9. Persentase Penurunan Kadar Senyawa Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam**

Perlakuan Penutupan Kayu Apu	Konsentrasi Nitrat (mg/l)		Penurunan Kadar Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum (0 hari)	Sesudah (8 hari)		
<b>100% (A)</b>	5,588	2,231	3,357	60,07
<b>75% (B)</b>	5,588	1,525	4,063	72,71
<b>50% (C)</b>	5,588	1,023	4,565	81,69
<b>25% (D)</b>	5,588	2,368	3,22	54,76
<b>0% (K)</b>	5,588	3,292	2,296	41,09

Adapun hasil analisis sidik ragam (ANOVA) yang dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Setelah itu dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur. Hasil perhitungan berdasarkan uji F secara keseluruhan didapatkan nilai F hitung lebih besar daripada F tabel hal itu berarti ada satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda sangat nyata pada taraf 5% dan 1%.

Pada uji F ini diperoleh nilai F hitung pada perlakuan penutupan tanaman yaitu 23,533. Jika dibandingkan dengan F tabel 5% dan 1% maka nilai F hitung pada perlakuan lebih besar dari F tabel 5% dan 1%. Sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan yang sangat nyata dengan taraf 5% dan 1% dari perlakuan penutupan tanaman terhadap penurunan senyawa nitrat didalam media tanam pada limbah cair tempe. Pada waktu dalam penutupan tanaman terdapat perbedaan sangat nyata dimana nilai F hitung lebih lebih besar dari nilai F tabel 5% dan 1% yaitu 37,869 sehingga dapat dikatakan bahwa waktu dalam penutupan tanaman juga ikut berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media tanam limbah cair tempe. Waktu dalam perlakuan penutupan tanaman 100%, 75%, 50%, 25%, dan 0% menunjukkan perbedaan

sangat nyata dimana nilai F hitung lebih lebih besar dari nilai F tabel 5% dan 1% secara berturut-turut yaitu 34,239; 47,523; 62,019; 29,166; dan 16,401 sehingga waktu dalam setiap perlakuan penutupan yaitu perlakuan penutupan 100%. 75%. 50%. 25% dan 0% juga ikut berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat, hal ini dikarenakan terdapatnya perbedaan jumlah tanaman atau perlakuan penutupan yang tidak sama, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 10**.

Akibat adanya penurunan senyawa nitrat yang berbeda sangat nyata pada perlakuan perbedaan penutupan maka harus dilakukan perhitungan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan dari masing-masing perlakuan penutupan tanaman lama waktu terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media tanam.

**Tabel 10. Sidik Ragam (ANOVA) Kadar Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Media Tanam**

Sumber Keragaman	DB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5 %	1%
Perlakuan (Penutupan Tanaman)	4	14,880	3,720	23,533**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan Tanaman	20	119,723	5,986	37,869**	1.78	2.27
Waktu dalam Penutupan 100%	4	21,649	5,412	34,239**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 75%	4	30,048	7,512	47,523**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 50%	4	39,214	9,803	62,019**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 25%	4	18,441	4,610	29,166**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 0%	4	10,370	2,592	16,401**	2.56	3.72
Galat	50	7,904	0,158			
Total	74	142,5066				

Keterangan : \* : berbeda nyata

\*\* : berbeda sangat nyata

Hasil analisis menggunakan uji BNT yang tertera pada **Lampiran 5**, pada perlakuan penutupan tanaman yang berbeda yaitu penutupan perlakuan penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media tanam didapatkan perbedaan yang sangat nyata antara perlakuan A1 dengan penutupan tanaman 100%. A2 dengan penutupan tanaman 75%. A3 dengan penutupan tanaman 50%. A4 dengan penutupan tanaman 25%. A5 dengan penutupan tanaman 0% (kontrol). Berdasarkan nilai uji BNT diketahui penurunan konsentrasi nitrat yang paling besar pada media limbah cair tempe terdapat pada perlakuan A3 yaitu dengan perlakuan penutupan tanaman kayu apu sebesar 50% pada hari ke-8.

#### 4.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam

Fosfor merupakan unsur yang essensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga serta sangat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan. Salah satu bentuk dari fosfor adalah Ortofosfat dimana senyawa ini dimanfaatkan oleh tumbuhan air secara langsung karena merupakan senyawa yang paling sederhana apabila dibandingkan dengan senyawa fosfor lainnya seperti polifosfat dan organoposfat. Kemampuan tanaman air dalam menurunkan kandungan senyawa ortofosfat dalam media tanam limbah cair tempe ditunjukkan dengan adanya perubahan konsentrasi selama 8 (delapan) hari pengamatan.

Kandungan pada senyawa ortofosfat selama 8 (delapan) hari tertera pada **Tabel 11**. Pada perlakuan penutupan tanaman 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% terus mengalami penurunan dari konsentrasi awal sebesar 1,770 mg/l secara berturut - turut menjadi 0,875 mg/l; 0,801 mg/l; 0,705 mg/l; 0,842 mg/l; dan 1,244 mg/l.

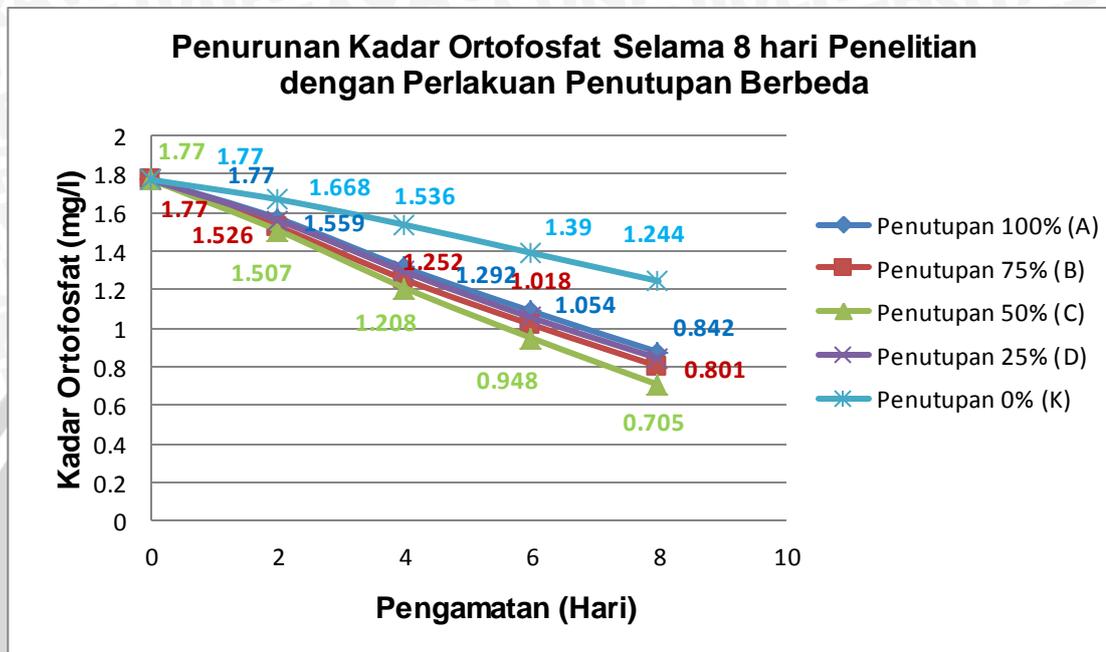
**Tabel 11. Data Hasil Kadar Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Lama Hari	Kandungan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Dalam Limbah Cair Industri Tempe (mg/l)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
0	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770
2	1.569	1.526	1.507	1.559	1.668
4	1.313	1.252	1.208	1.292	1.536
6	1.087	1.018	0.948	1.054	1.390
8	<b>0.875</b>	<b>0.801</b>	<b>0.705</b>	<b>0.842</b>	<b>1.244</b>

Penurunan pada kandungan ortofosfat dalam media tanam dapat terjadi secara maksimal pada perlakuan penutupan 50%. Sedangkan pada penutupan 75% jumlah tanaman kayu apu terlalu banyak dan pada perlakuan penutupan 25% jumlahnya terlalu sedikit jika dibandingkan penutupan 50% sehingga penyerapan dan penurunan kandungan ortofosfat tidak dapat terjadi secara maksimal. Semakin tinggi penutupan, persaingan akan mendapatkan  $\text{O}_2$  dan  $\text{CO}_2$  akan meningkat sehingga proses pendegradasian bahan organik dan proses fotosintesis tidak akan berjalan maksimal hal tersebut akan berpengaruh terhadap proses penyerapan senyawa ortofosfat dalam air limbah yang akan semakin rendah.

Berdasarkan penelitian didapatkan penurunan senyawa ortofosfat yang paling rendah terdapat pada perlakuan penutupan 0% dan paling tinggi pada perlakuan penutupan tanaman 50%. Jumlah kepadatan tanaman kayu apu yang digunakan dapat berpengaruh terhadap proses penyerapan, karena semakin padat suatu tanaman di suatu media atau disuatu perairan maka persaingan dalam mendapatkan oksigen juga berkurang sehingga laju pertumbuhan tanaman tersebut dapat terganggu dan proses penyerapan nutrisi akan semakin rendah seperti pada perlakuan penutupan tanaman 100% dan 75%, namun apabila jumlah tanaman terlalu sedikit seperti pada perlakuan penutupan

tanaman 25% juga dapat berpengaruh pada proses penyerapan unsur hara. Hasil analisa penurunan konsentrasi ortofosfat pada media tanam selama 8 (delapan) hari penelitian dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5. Grafik Penurunan Kandungan Ortofosfat Selama 8 Hari pada Penutupan Kayu Apu yang Berbeda**

Menurut Febrianty (2011) menyatakan jika jumlah kepadatan tanaman akan berpengaruh pada laju pertumbuhan relatif dan waktu penggandaan sebagai penentu tingkat penyerapan bahan organik dan produktifitasnya. Semakin sedikit jumlah rumpun tanaman maka laju pertumbuhan relatif menjadi semakin besar dan menunjukkan waktu penggandaan yang semakin kecil dan proses penyerapan bahan organik semakin tinggi, begitupun sebaliknya pada kepadatan tanaman yang semakin tinggi laju pertumbuhan relatif (RGR) menjadi semakin kecil dan menunjukkan waktu penggandaan (DT) yang semakin besar dan proses penyerapan bahan organik semakin rendah. Kandungan ortofosfat pada penutupan 0% mengalami penurunan yang tidak secepat dengan perlakuan yang lain karena di dalam media tanam tidak diberikan perlakuan tanaman, sehingga

yang menyerap ortofosfat yaitu diduga adanya fitoplankton. Meskipun begitu fitoplankton tidak begitu menyukai ortofosfat sehingga penurunannya relatif sedikit serta adanya bakteri yang melarutkan fosfat untuk pembentukan sel dengan mengakumulasi didalam selnya lalu fosfat tersebut baru dapat tersedia untuk tanaman. Hasil penelitian Widiawati dan Suliasih (2006) dalam Marista *et al.*, (2013) menyatakan bahwa bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* merupakan bakteri pelarut fosfat yang memiliki kemampuan terbesar sebagai *biofertilizer* dengan cara melarutkan unsur fosfat yang terikat pada unsur lain (Fe, Al, Ca, dan Mg) sehingga unsur P tersebut menjadi tersedia bagi tanaman.

Hasil analisa laju penyerapan ortofosfat dapat dilihat pada **Tabel 12** dan **Lampiran 6**.

**Tabel 12. Data Laju Penurunan Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Lama Hari	Laju Penurunan Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam (%)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
2	11,318	13,804	14,878	11,902	5,781
4	16,352	17,916	19,845	17,144	7,915
6	17,212	18,738	21,502	18,395	9,464
8	19,473	21,323	25,598	20,107	10,549

Pada **Tabel 12**. menunjukkan bahwa laju penurunan ortofosfat terus mengalami peningkatan sampai hari ke-8. Pada perlakuan penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% mengalami peningkatan secara berturut-turut yaitu 19,473 %; 21,323%; 25,598%; 20,107% dan 10,549% dengan laju penurunan pada hari ke-2 pada perlakuan penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% secara berturut-turut yaitu 11,318%; 13,804%; 14,878%; 11,902% dan 5,781%. Dilihat dari tabel diatas dimulai pada hari ke-2 hingga ke-8 laju penurunan ortofosfat yang paling tinggi terdapat pada penutupan 50% yaitu secara berturut-turut sebesar 14,878 %; 19,845%; 21,502%; dan 25,598% serta laju penurunan paling rendah diantara

perlakuan penutupan yang lain yaitu terdapat pada perlakuan penutupan 0% secara berturut-turut didapatkan laju penurunan pada senyawa ortofosfat sebesar 5,781%; 7,915%; 9,464%; dan 10,549%.

Hasil peningkatan penyerapan ortofosfat selama 8 (delapan) hari dalam penelitian ini diakibatkan oleh adanya pemanfaatan senyawa ortofosfat yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan akar, dengan adanya fosfor yang cukup proses pertumbuhan akar akan berjalan dengan baik dan akar-akar halus dan akar-akar rambut pada tanaman akan semakin banyak, selain itu fosfor digunakan untuk proses metabolismenya yang berperan sebagai enzim di dalam jaringannya yang memiliki fungsi untuk mempercepat proses pertumbuhan tanaman tersebut. Fosfor yang cukup akan mempercepat pertumbuhan akar.

Penambahan fosfor dapat meningkatkan bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan tinggi tanaman. Selain itu, fosfor juga berperan dalam memperbanyak akar halus dan akar rambut sehingga semakin banyak pupuk fosfor, akan semakin banyak akar pada tanaman (Gumail, 1999). Fungsi fosfor pada tanaman adalah sebagai penyusun metabolit dan senyawa kompleks, mempengaruhi perkembangan akar, kualitas akar, dan ketahanan terhadap penyakit (Soepardi, 1983). Persentase penurunan konsentrasi senyawa ortofosfat dapat dilihat pada

**Tabel 13.**

**Tabel 13. Persentase Penurunan Kadar Senyawa Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Perlakuan Penutupan Kayu Apu	Kadar Ortofosfat (mg/l)		Penurunan Kadar Ortofosfat	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum (0 hari)	Sesudah (8 hari)		
100% (A)	1,770	0,875	0,895	50,56
75% (B)	1,770	0,801	0,969	54,74
50% (C)	1,770	0,705	1,065	60,17
25% (D)	1,770	0,842	0,928	52,43
0% (K)	1,770	1,244	0,526	29,72

Pada **Tabel 13** menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi senyawa ortofosfat pada media air limbah dengan perlakuan penutupan tanaman kayu apu sebesar 100%, 75%, 50% dan 25% terus mengalami peningkatan dari hari ke hari selama 8 (delapan) hari. Besarnya persentase ortofosfat yang hilang pada media tanam sampai hari ke-8 secara berturut – turut sebesar 50,56%; 54,74%; 60,17%; dan 52,43% dari konsentrasi pada hari ke-0 (awal penelitian). Lalu pada perlakuan penutupan tanaman sebesar 0% yakni tidak diberikan perlakuan tanaman kayu apu juga mengalami penurunan sebesar 36.89% dari konsentrasi awal. Sehingga dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa persentase penurunan nilai ortofosfat paling tinggi terletak pada penutupan 50% dan persentase penurunan nilai ortofosfat paling rendah terletak pada penutupan 0%. Terjadinya penurunan ortofosfat yang maksimal oleh tanaman kayu apu dengan perlakuan penutupan sebesar 50% karena pada perlakuan ini jumlah tanaman atau kepadatan tanaman tidak tinggi atau berada pada kombinasi jumlah tanaman yang terbaik, karena semakin tinggi penutupan tanaman persaingan akan mendapatkan karbondioksida akan meningkat sehingga proses fotosintesis, transpirasi dan proses penyerapan ortofosfat juga akan terhambat. Senyawa fosfor merupakan senyawa penting untuk penyusunan senyawa dalam menghasilkan energi pada proses fotosintesis terutama pada reaksi gelap fotosintesis dan nukleoprotein, sistem informasi genetik (DNA dan RNA), membran sel (fosfolipid), dan fosfoprotein.

Menurut Iskandar (2009) menyatakan bahwa fosfor merupakan senyawa penting untuk penyusunan senyawa dalam menghasilkan energi pada proses fotosintesis terutama pada reaksi gelap fotosintesis dan nukleoprotein, sistem informasi genetik (DNA dan RNA), membran sel (fosfolipid), dan fosfoprotein. Kekurangan fosfor dalam tanaman akan mengurangi jumlah daun yang selanjutnya berakibat pada pertumbuhan tanaman yang kurang baik. Hal ini

dapat pula menyebabkan pengecilan ukuran diameter batang. Dalam metabolisme tanaman, proses fotosintesis dan respirasi tidak akan berlangsung jika tidak tersedia energi dari ATP (suasana aerobik) atau NADPH (suasana anaerobik) ATP didapatkan dari hasil fotosintesis. Senyawa fosfor berperan penting dalam perubahan-perubahan karbohidrat dan senyawa-senyawa terkait glikolisis, metabolisme asam-asam amino, oksidasi biologis dan reaksi-reaksi metabolisme lainnya, yang terutama terkait dengan fungsi utamanya sebagai pembawa energi kimiawi. Sedangkan pada perlakuan penutupan 0% didapatkan persentase penurunan paling rendah hal ini dikarenakan yang memanfaatkan ortofosfat hanya terjadi pada bakteri saja, meskipun begitu bakteri membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menguraikan fosfat karena fosfat bersifat mudah mengendap dan cenderung lebih sulit untuk larut dalam air, selain itu suhu selama penelitian pada perlakuan ini cenderung rendah dibandingkan perlakuan dengan diberi penutupan tanaman kayu apu, suhu merupakan salah satu faktor yang penting untuk bakteri dalam proses menurunkan senyawa fosfat. Fosfat organik dapat pula terjadi dari ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri/mikroba maupun tanaman menyerap fosfat bagi pertumbuhannya (Alaerts, 1984). Berdasarkan hasil analisa ragam yang dapat dilihat pada **Lampiran 6**. dilakukan Uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 14**.

Tabel 14. Sidik Ragam (ANOVA) Konsentrasi Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam

Sumber Keragaman	DB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5 %	1%
Perlakuan (Penutupan Tanaman)	4	0,7668	0,192	110,194**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan Tanaman	20	7,726	0,386	222,056**	1.78	2.27
Waktu dalam Penutupan 100%	4	1,551	0,387	222,8113**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 75%	4	1,799	0,449	258,469**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 50%	4	2,170	0,543	311,856**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 25%	4	1,674	0,418	240,533**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 0%	4	0,533	0,133	76,611**	2.56	3.72
Galat	50	0,087	0,002			
Total	74	8,580				

Keterangan : \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

Hasil perhitungan berdasarkan uji F secara keseluruhan didapatkan nilai F hitung lebih besar dari F tabel, hal itu menandakan bahwa ada perlakuan penutupan tanaman yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 5% dan 1%. Dengan didapatkan nilai F hitung pada perlakuan penutupan tanaman yaitu 110,194. Kemudian, pada lama waktu dalam penutupan tanaman kayu apu didapatkan hasil berbeda sangat nyata dimana nilai F hitung lebih lebih besar dari nilai F tabel 5% dan 1% yaitu sebesar 222,056 sehingga dapat dikatakan pula bahwa lama waktu dalam perlakuan penutupan tanaman ikut berpengaruh terhadap penurunan kandungan senyawa ortofosfat pada media tanam.

Waktu dalam berbagai penutupan yaitu penutupan 100%. 75%. 50%. 25%. dan 0% menunjukkan berbeda sangat nyata dimana nilai F hitung lebih lebih besar dari nilai F tabel 5% dan 1% secara berturut-turut sebesar 222,8113;

258,469; 311,856; 240,533; dan 76,611. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu dalam penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% ikut berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi senyawa ortofosfat sebagai akibat oleh adanya penutupan tanaman eceng gondok yang berbeda. Analisa sidik ragam tersebut dapat dilihat pada **Tabel 14**.

Dikarenakan adanya perbedaan yang sangat nyata pada penurunan senyawa nitrat terhadap perlakuan perbedaan penutupan tanaman maka harus dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing - masing perlakuan terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media tanam. Hasil uji BNT pada **Lampiran 6** menunjukkan bahwa pada perlakuan penutupan tanaman yang berbeda yaitu penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% terhadap penurunan konsentrasi senyawa nitrat pada media tanam didapatkan perbedaan yang sangat nyata antara perlakuan A1 dengan penutupan tanaman 100%. A2 dengan penutupan tanaman 75%. A3 dengan penutupan tanaman 50%. A4 dengan penutupan tanaman 25%. A5 dengan penutupan tanaman 50%. Berdasarkan hasil uji BNT diketahui penurunan konsentrasi ortofosfat terbesar pada media yaitu pada perlakuan A3 yaitu dengan penutupan 50% pada hari ke-8.

#### **4.6 Kualitas Air Pendukung**

##### **4.6.1 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)**

Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter yang sangat berperan dalam proses dekomposisi bahan organik khususnya apabila kandungan oksigen memenuhi di dalam perairan maka proses dekomposisi secara aerob akan terjadi. Namun apabila di perairan terdapat sedikit oksigen atau tanpa oksigen maka akan terjadi proses dekomposisi anaerob. Nilai oksigen terlarut yang didapatkan setiap hari selama 8 (delapan) hari penelitian pada setiap pagi hari

(06.00 WIB), siang hari (12.00 WIB) dan sore hari (17.00 WIB) dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Data hasil rata-rata oksigen terlarut pada saat penelitian dapat dilihat pada **Tabel 15**.

**Tabel 15. Hasil Rata – Rata Oksigen Terlarut (DO) Pada Media Tanam**

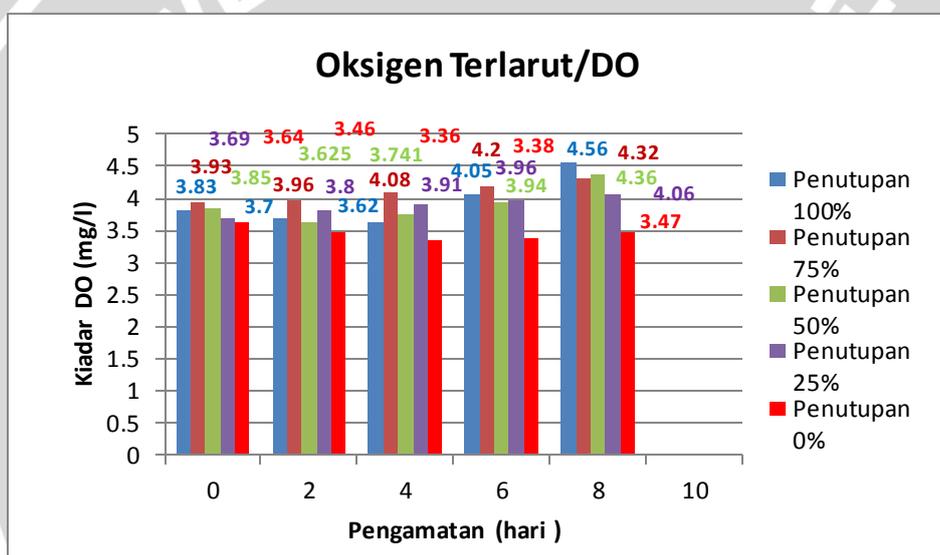
Lama Hari	DO (mg/l)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
0	3.83	3.93	3.85	3.69	3.64
2	3.70	3.96	3.62	3.80	3.46
4	3.62	4.08	3.74	3.91	3.36
6	4.05	4.20	3.94	3.96	3.38
8	4.56	4.32	4.36	4.06	3.47
<b>Rata-rata</b>	<b>3.95</b>	<b>4.91</b>	<b>3.91</b>	<b>3.88</b>	<b>3.46</b>

Pada aquarium percobaan yang ditanami tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada perlakuan penutupan 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% memiliki kisaran oksigen terlarut (DO) berturut-turut berkisar antara 3,62 mg/l-4,56 mg/l; 3,93 mg/l-4,32 mg/l; 3,62 mg/l-4,36 mg/l; 3,69 mg/l-4,06 mg/l; 3,36 mg/l-3, 64 mg/l. Apabila dilihat secara keseluruhan nilai oksigen terlarut yang dihasilkan pada masing-masing perlakuan pada aquarium percobaan masih berada di atas kisaran minimum untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan oksigen terlarut minimum menurut Boyd (1982) menyatakan bahwa konsentrasi oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 3 mg/l.. Pada siang hari, oksigen dihasilkan melalui proses fotosintesa sedangkan pada malam hari, oksigen yang terbentuk akan digunakan kembali oleh alga untuk proses metabolisme pada saat tidak ada cahaya. Kadar oksigen maksimum terjadi pada sore hari dan minimum menjelang pagi hari.

Oksigen terlarut pada aquarium percobaan terjadi kenaikan dan penurunan namun tidak signifikan, terjadi kenaikan dikarenakan oksigen terlarut didapatkan dari hasil fotosintesis tanaman juga berasal dari difusi. Terjadi penurunan dapat disebabkan oksigen terlarut di gunakan untuk proses respirasi tanaman dan biota

air didalam aquarium percobaan dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba secara aerob selain itu karena air yang digunakan sebagai media tanam adalah air limbah yang mengandung bahan organik. Konsentrasi oksigen terlarut di pengaruhi oleh proses respirasi biota air dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Pengaruh ekologi lain yang menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut menurun adalah penambahan zat organik (buangan organik) (Connel dan Miller, 1995 dalam Wijayanti, 2007).

Hasil pengukuran DO pada saat penelitian ini dapat dilihat dalam bentuk grafik pada **Gambar 6**



**Gambar 6. Grafik Perubahan Oksigen Terlarut Selama Penelitian**

**Gambar 6.** di atas menunjukkan bahwa hasil pengukuran oksigen terlarut dari awal sampai akhir penelitian terjadi perubahan pada bak-bak aquarium percobaan. Secara keseluruhan kandungan DO pada setiap harinya selama 8 (hari) penelitian pada penutupan 100%, 75%, 50%, dan 25% kadar DO setiap harinya mengalami peningkatan sampai hari ke-8 meskipun peningkatan tersebut tidak terjadi secara signifikan namun secara bertahap hingga mencapai nilai berturut-turut 4,56 mg/l; 4,32 mg/l; 4,36 mg/l; dan 4,06 mg/l. Akan tetapi pada perlakuan penutupan 0% sebagai perlakuan kontrol oksigen terlarut terus

mengalami fluktuasi (turun naik) dan cenderung lebih rendah dengan kadar oksigen yang terdapat pada keempat perlakuan lainnya. Terjadi penurunan kadar oksigen terlarut mulai hari ke-0 hingga hari ke-4 hingga mencapai nilai secara berturut-turut 3,64 mg/l, 3,46 dan 3,36 mg/l. Peningkatan kandungan oksigen terlarut yang terjadi dikarenakan kandungan bahan organik yang terdapat dalam limbah cair tempe kadarnya sudah mulai berkurang dikarenakan adanya proses penyerapan oleh tanaman kayu apu sebagai fitoremediator sehingga oksigen terlarut yang dimanfaatkan oleh bakteri aerob untuk mendegradasi bahan organik tidak terlalu besar selain itu terjadinya proses fotosintesis oleh tanaman kayu apu juga mempengaruhi kadar oksigen terlarut pada media tanam dengan perlakuan penutupan yang berbeda terus mengalami peningkatan.

Menurut Sandriati (2010) peningkatan oksigen terlarut dikarenakan bahan organik yang tersisa dalam air limbah tinggal sedikit sehingga oksigen yang diperlukan untuk proses dekomposisi juga sedikit dan oksigen pun akan disuplai ke perairan. Menurut LBN-LIPI (1981) tumbuhan air melakukan proses fotosintesa menggunakan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , unsur hara makro dan mikro, kemudian melepaskan  $\text{O}_2$  ke dalam air, sehingga tumbuhan air dapat menjernihkan, mengurangi tingkat kesuburan dan meningkatkan  $\text{O}_2$  terlarut dalam air.

Pada perlakuan tanpa tanaman/kontrol terjadi penurunan kandungan oksigen karena adanya proses degradasi nitrat dan ortofosfat oleh bakteri aerob, selain itu adanya zat pencemar yang mengkonsumsi oksigen terlarut seperti senyawa ammonia. Menurut Yusuf (2008) penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Sebagian besar zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik seperti limbah cair tempe sehingga memiliki kandungan amoniak yang tinggi menyebabkan aroma bau

asam yang tidak enak. Kandungan ammonia tersebut juga berpengaruh terhadap penurunan kandungan oksigen terlarut.

#### 4.6.2 Derajat Keasaman/pH

Derajat keasaman atau pH merupakan nilai yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air, nilai pH dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain aktivitas biologi, suhu, kandungan oksigen dan ion-ion. pH merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi laju pertumbuhan pada tanaman terutama untuk pertumbuhan akar. Nilai oksigen terlarut yang didapatkan setiap hari selama 8 (delapan) hari penelitian pada setiap pagi hari (06.00 WIB), siang hari (12.00 WIB) dan sore hari (17.00 WIB) dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Data hasil rata-rata pH media tanam dapat dilihat pada **Tabel 16**.

**Tabel 16. Hasil Rata-Rata pH Pada Media Tanam**

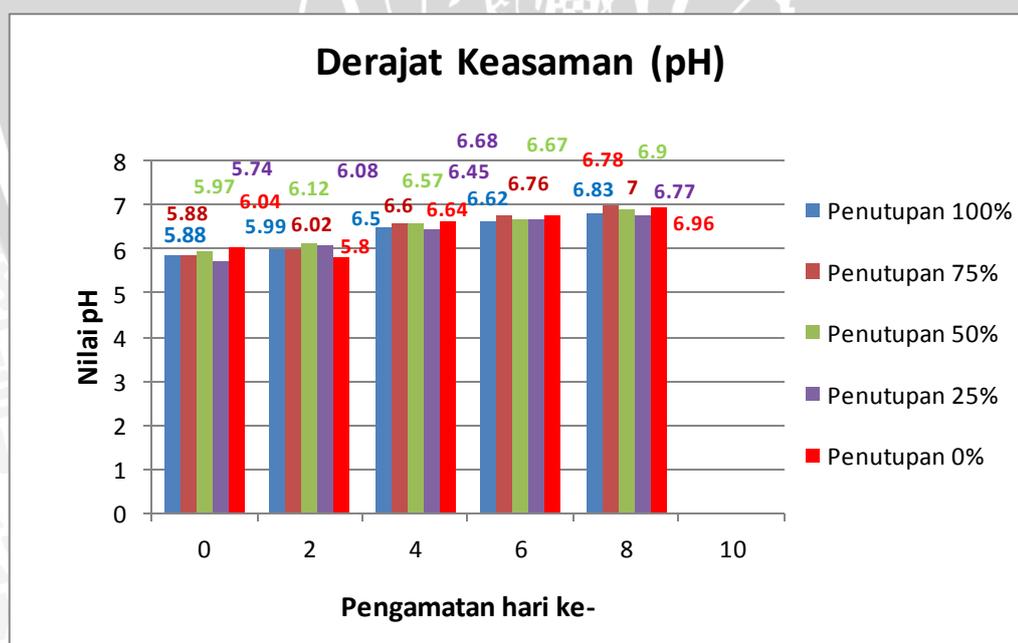
Lama Hari	pH				
	Penutupan 100%	Penutupan 75%	Penutupan 50%	Penutupan 25%	Penutupan 0%
0	5.88	5.88	5.97	5.74	6.04
2	5.99	6.02	6.12	6.08	5.80
4	6.50	6.60	6.57	6.45	6.64
6	6.62	6.76	6.67	6.68	6.78
8	6.83	7.00	6.90	6.77	6.96
<b>Rata-rata</b>	<b>6.37</b>	<b>6.45</b>	<b>6.45</b>	<b>6.34</b>	<b>6.45</b>

Nilai pH aquarium percobaan yang ditanami kayu apu dengan perlakuan penutupan 100%, didapatkan nilai pH 5.88-6.83, kemudian pada perlakuan penutupan 75% menunjukkan nilai pH 5.88-7.00. Pada perlakuan penutupan 50% didapatkan nilai pH 5,97-6,90 kemudian pada perlakuan penutupan 25% didapatkan nilai pH 5.74-6.77. Sedangkan pada aquarium tanpa tanaman kayu apu atau penutupan 0% didapatkan nilai pH 6.04-6.96.. Dari nilai pH yang didapatkan selama penelitian dapat dilihat bahwa terjadi perubahan pH yang berbeda antar perlakuan dan tanpa perlakuan/kontrol. Kisaran derajat keasaman/pH pada semua perlakuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa

kondisi pada media tanaman selama 8 (delapan) hari pengamatan berada pada kisaran derajat keasaman/pH kondisi asam lemah hingga mendekati derajat keasaman/pH yang netral.

Kondisi pH yang asam pada saat awal penelitian dapat disebabkan dari limbah cair tempe yang digunakan yaitu limbah dari hasil perendaman akhir serta bahan dasar yang digunakan dalam proses pembuatan tempe adalah kedelai, dimana kedelai mengandung bahan organik seperti pati, protein dan karbohidrat yang tinggi. Dari nilai pH diatas dapat dikatakan bahwa nilai pH yang terdapat pada media tanam masih mendukung untuk pertumbuhan tanaman kayu apu. Menurut Holm *et al.*, (1977) tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) akan tumbuh baik pada nilai pH > 4, tidak akan tumbuh pada nilai pH 3 dan pertumbuhan akan mengalami perlambatan pada setiap kisaran pH melebihi nilai optimum. Hasil pengukuran pH pada saat penelitian dapat dilihat dalam bentuk grafik pada

Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perubahan pH Selama Penelitian

**Gambar 7.** di atas menunjukkan bahwa hasil pengukuran pH dari awal sampai akhir penelitian terjadi perubahan pada aquarium percobaan. Peningkatan terjadi dari hari kedua hingga hari kedelapan pada seluruh perlakuan pada aquarium percobaan meskipun peningkatannya tidak terjadi secara signifikan. Peningkatan pH yang terjadi selama pengamatan dapat disebabkan oleh banyaknya proses degradasi bahan organik pada media tanam yang menghasilkan senyawa ammonia ( $\text{NH}_3$ ). Apabila pH yang sangat rendah, menyebabkan kelarutan logam-logam dalam air makin besar, akan bersifat toksik bagi organisme air, sebaliknya pH yang tinggi dapat meningkatkan konsentrasi amoniak dalam air yang juga bersifat toksik atau beracun bagi organisme/biota air (Frasawi *et al.*, 2013).

#### 4.6.3 Suhu

Suhu sangat berpengaruh terhadap tanaman melalui proses metabolisme dalam tubuh tanaman, yang tercermin dalam berbagai karakter seperti laju pertumbuhan, dormansi benih dan kuncup serta perkecambahan, pembungaan, pertumbuhan buah dan pematangan jaringan atau organ tanaman. Nilai suhu yang didapatkan setiap hari selama 8 (delapan) hari penelitian pada setiap pagi hari (06.00 WIB), siang hari (12.00 WIB) dan sore hari (17.00 WIB) dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Data hasil rata-rata suhu pada saat penelitian dapat dilihat pada **Tabel 17**.

**Tabel 17. Hasil Rata – Rata Suhu Pada Media Tanam**

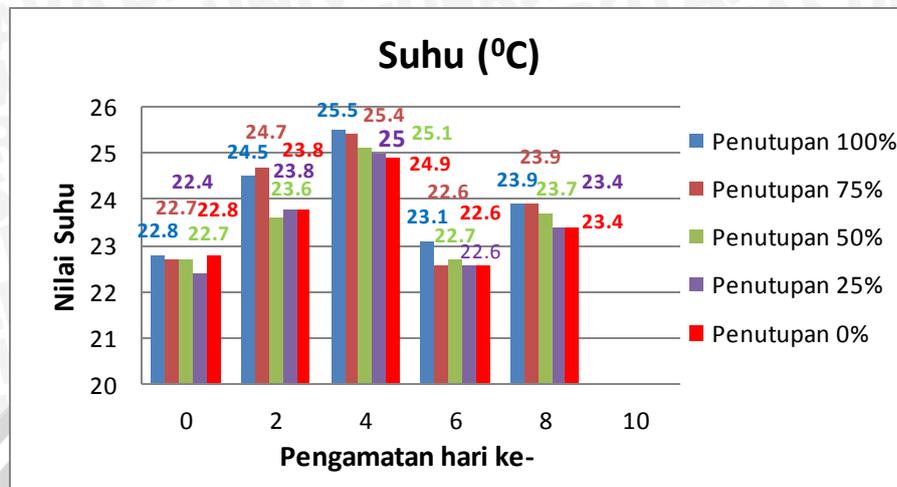
Lama Hari	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	Penutupan 100%	Penutupan 75%	Penutupan 50%	Penutupan 25%	Penutupan 0%
0	22.8	22.7	22.7	22.4	22.8
2	24.5	24.7	23.6	23.8	23.8
4	25.5	25.4	25.1	25.0	24.9
6	23.1	22.6	22.7	22.6	22.6
8	23.9	23.9	23.7	23.4	23.4
Rata-rata	24.0	23.9	23.6	23.4	23.5

Dari **Tabel 17** dapat dilihat hasil dari pengukuran suhu selama 8 (delapan) hari penelitian yang ditanami dengan tanaman kayu apu pada perlakuan penutupan 100% didapatkan suhu berkisar 22.8°C-25.5°C, pada perlakuan penutupan 75% berkisar 22.7°C-25.4°C, pada perlakuan penutupan 50% didapatkan kisaran 22.7°C-25.1°C, pada perlakuan penutupan 25% didapatkan kisaran 22.4°C-25.0°C dan pada perlakuan penutupan 0% didapatkan kisaran 22.8°C-24.9°C.

Data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa perubahan suhu pada masing-masing perlakuan pada aquarium percobaan terjadi perubahan naik dan turun suhu terjadi selama penelitian berlangsung namun tidak terlalu signifikan. Terjadinya fluktuasi suhu ini dapat dikarenakan pada saat penelitian kondisi cuaca berubah-ubah. Karena salah satu faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu adalah cuaca, selain itu intensitas cahaya serta adanya celah atau ruang pada media tanam yang tidak tertutupi oleh tanaman kayu apu hal ini dikarenakan karena luas penampang daun pada tanaman kayu apu relatif kecil sehingga tidak terlalu menutupi cahaya yang masuk. Pola suhu ekosistem akuatik dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi (Brehm dan Meijering, 1990 *dalam* Barus, 1996).

Berdasarkan kisaran suhu pada aquarium percobaan yang ditanami oleh tanaman kayu apu masih dapat dikatakan baik untuk kelangsungan dan pertumbuhan tanaman tersebut. Suhu mempengaruhi tanaman dalam beberapa aktivitas fisiologi tanaman seperti pertumbuhan akar, serapan unsur hara dan air dalam tanah, fotosintesis, respirasi dan translokasi fotosintat (Lenisastri, 2000). Kayu apu dapat mentolerir suhu 15°C-35 °C, akan tetapi lebih optimal pertumbuhan dari tanaman kayu apu ini terdapat pada kisaran suhu 22°C-30°C (Pieterse, 1981 *dalam* Neuenschwander *et al.*, 2009).

Hasil pengukuran suhu selama 8 (delapan) hari pengamatan ini dapat dilihat dalam bentuk grafik pada **Gambar 8**.



**Gambar 8. Grafik Perubahan Suhu Selama Penelitian**

**Gambar 8.** di atas menunjukkan bahwa hasil pengukuran suhu pada bak percobaan yang ditanami oleh kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dengan perlakuan penutupan yang berbeda terus mengalami peningkatan pada awal penelitian yaitu hari ke-0 sampai ke-4 dan pada hari ke-6 dan ke-8 terjadi perubahan naik turun suhu. Hal ini dikarenakan cuaca yang berbeda-beda pada saat dilakukan pengukuran suhu pada aquarium-aquarium percobaan. Selain itu, akar tumbuhan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang relatif berukuran kecil jika dibandingkan dengan eceng gondok hal inilah yang menyebabkan kurangnya kemampuan untuk menyerap panas yang ada di dalam air.

Nilai tersebut sesuai dengan hasil pengukuran ortofosfat dan nitrat yang semakin menurun pada media yang ditanami oleh tanaman air kayu apu terutama pada hari ke-4 presentasi penurunan lebih besar jika dibandingkan dengan hari ke-2 dan ke-6. Meningkatnya suhu akan berpengaruh terhadap tingkat absorpsi nutrisi dikarenakan suhu berperan penting dalam proses fotosintesis pada tumbuhan air. Apabila suhu tinggi maka proses fotosintesis akan berjalan dengan baik dan proses penyerapan nutrisi pun semakin baik. Hal

ini sesuai dengan pendapat Hidayat (2011) jika semakin tinggi suhu lingkungan tanaman maka semakin tinggi pula tingkat penyerapan oleh tanaman, dimana suhu lingkungan akan menyebabkan proses fotosintesis meningkat sehingga penyerapan nutrisi oleh tanaman juga semakin meningkat. Suhu berpengaruh langsung karena reaksi kimia enzimatik yang berperan dalam proses fotosintesis. Peningkatan suhu sampai batas tertentu akan menaikkan laju fotosintesis (Nonji, 2006).

#### 4.7 Berat Basah Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Berat basah atau biomassa tanaman merupakan ukuran atau parameter yang digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman. Pada akhir penelitian rata-rata perlakuan menunjukkan adanya penambahan berat basah tanaman dari kondisi berat awal ( $W_0$ ). Nilai laju pertumbuhan relatif (*Relative Growth Rate/ RGR*) merupakan gambaran dari kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam menyerap unsur hara dari air limbah yang digunakan untuk pertumbuhannya.

Hasil pengukuran rata-rata biomassa, laju pertumbuhan relatif dan waktu berganda (*Double Time*) dapat dilihat pada **Tabel 18**.

**Tabel 18. Hasil Rata – Rata Berat Basah Tanaman dan RGR Serta DT Pada Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)**

Perlakuan	Waktu (hari)		RGR (%/hari)	DT (hari)
	0	8		
Penutupan 100% (A)	691,09	703,09	0,212	3,25
Penutupan 75% (B)	448,30	458,03	0,275	2,51
Penutupan 50% (C)	330,00	338,41	0,312	2,21
Penutupan 25% (D)	251,70	259,50	0,387	1,78

Dilihat dari **Tabel 18** di atas seluruh tanaman kayu apu yang ada di bak-bak percobaan percobaan mengalami peningkatan berat basah. Ketika pertumbuhan relatif rata-rata (RGR) tanaman meningkat, maka waktu penggandaan (DT) tanaman akan menurun atau dapat dikatakan antara RGR dan DT berbanding terbalik. Sejalan dengan waktu, peningkatan luas penutupan tumbuhan air mempengaruhi peningkatan biomassa yang dihasilkan (Mursalin, 2007). Kondisi seperti ini menggambarkan bahwa proses pertumbuhan yang terjadi pada tanaman kayu apu dapat berjalan dengan baik dan itu artinya tanaman kayu apu dapat menyerap unsur hara dan produktivitas tanamanpun akan meningkat. Terjadinya peningkatan laju pertumbuhan antar perlakuan pada tanaman kayu apu menandakan bahwa tanaman tersebut mampu menyerap nitrat dan ortofosfat melalui akar-akarnya.

Hal ini dapat dilihat dari kadar nitrat dan ortofosfat selama waktu penelitian berlangsung mengalami penurunan. Menurut Indah *et al.* (2014) peningkatan berat basah disebabkan karena akar-akar tanaman mampu menyerap dengan baik bahan organik yang mendukung nutrisi dan menyimpannya ke dalam jaringan vascular tanaman yang digunakan untuk proses metabolisme dan memperbanyak sel. Bahan organik yang dirombak terlebih dahulu menjadi bahan anorganik tersebut digunakan tanaman sebagai nutrisi untuk pertumbuhan. Selain itu, ketersediaan air pada media tanam yang berisi campuran limbah cair tempe ini masih cukup sehingga berat basah tanaman akan bertambah. Menurut Phatoni (2000) tanaman dalam kondisi air yang terbatas proses fotosintesisnya akan terhambat. Terhambatnya proses fotosintesis akan berdampak pada penurunan jumlah asimilat yang dibentuk oleh tanaman sehingga berpengaruh pada berat basah tanaman.

Selama 8 (delapan) hari penelitian berat basah tanaman kayu apu (*Pistia sp.*) mengalami kenaikan karena perkecambahannya yang sangat tinggi yaitu dengan

cepat munculnya stolon baru, akan tetapi stolon tersebut mudah patah. Stolon pada tanaman kayu apu mudah sekali terpotong dan pada bagian ujungnya dapat tumbuh menjadi individu baru (Sastrapradja dan Bimantoro, 1981 dalam Safitri, 2009).

Laju pertumbuhan relatif (RGR) dapat dikatakan sebagai peningkatan bahan organik per hari. Pada **Tabel 18**, dapat terlihat bahwa RGR tertinggi pada perlakuan penutupan 25% dan perlakuan penutupan 50%. RGR tertinggi menunjukkan bahwa tanaman kayu apu pada penutupan 25% dan penutupan 50% memiliki pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan pada penutupan yang lain dengan nilai rata-rata RGR secara berturut-turut sebesar 0,387% dan 0,312% . Hal ini sejalan dengan penurunan kadar nitrat dan ortofosfat pada aquarium percobaan. Namun persentase penurunan kadar nitrat dan ortofosfat yang paling baik terjadi pada perlakuan penutupan tanaman kayu apu 50%. Nilai RGR ini juga mendukung hipotesa yang mengatakan kalau untuk penyerapan nitrat dan ortofosfat penutupan 50% adalah komposisi terbaik antara kepadatan rumpun atau banyaknya tanaman kayu apu yang digunakan. Ketika jumlah tanaman pada media tanam tidak padat atau masih ada celah maka tanaman bisa tumbuh lebih baik dan cepat sehingga berpengaruh terhadap proses penyerapan nutrisi yang terjadi lebih cepat pula. Meskipun pada perlakuan penutupan 25% didapatkan rata-rata RGR paling baik akan tetapi jumlah kayu apu terlalu sedikit dibandingkan dengan perlakuan penutupan 50-100%.

Pada perlakuan penutupan tanaman 75%-100% kepadatan tanaman terlalu tinggi, cahaya matahari tidak dapat masuk secara baik dan suhu pun akan ikut berpengaruh pada proses fotosintesis, laju pertumbuhan dan proses penyerapan unsur hara akan terjadi secara maksimal apabila proses fotosintesis pada tanaman kayu apu juga dapat berjalan secara maksimal. Jika semakin tinggi suhu lingkungan tanaman maka akan semakin tinggi pula tingkat penyerapan

oleh tanaman air kayu apu ini, dimana parameter suhu lingkungan akan menyebabkan proses fotosintesis meningkat sehingga proses absorpsi atau proses penyerapan nutrient (nitrat dan ortofosfat) oleh tanaman juga semakin meningkat (Hidayat, 2011).



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

- Perlakuan berbagai penutupan kayu apu (*Pistia stratiotes*) memberikan pengaruh yang berbeda sangat nyata terhadap penurunan kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dengan perlakuan terbaik yaitu terdapat pada media dengan penutupan kayu apu 50% dengan persentase penurunan nitrat 81,69% dan ortofosfat 60,17%.
- Hasil pengukuran selama penelitian pada parameter kualitas air pendukung menunjukkan kondisi yang masih mendukung untuk kehidupan organisme dan proses penyerapan tanaman kayu apu.

### 5.2 Saran

Kayu apu mampu digunakan sebagai agen hayati dalam menurunkan nutrien, sehingga perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut mengenai efektivitas kayu apu dalam menurunkan beban pencemar dalam air limbah selain itu diperlukan penelitian dengan menggunakan tanaman air jenis lain dengan media tanam dari air limbah industri pada konsentrasi yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts dan Sri S.S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional: Surabaya.
- Aphrodyanti, L. 2007. *Spodoptera Pectinicornis*(Hampson) (Lepidoptera: Noctuidae) Sebagai Agens Hayati Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.): Kajian Hidup, Kemampuan Merusak dan Kisaran Inang. Sekolah Pasca sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Apriadi, T. 2008. *Kombinasi Bakteri dan Tumbuhan Air sebagai Bioremediator dalam Mereduksi Kandungan Bahan Organik Limbah Kantin*. Institut Pertanian Bogor. 86 Halaman
- Arisandi, D.J.2006. *Pengaruh Keberadaan Kayu apu (Pistiastratiotes L) Pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi Sawah (Oryza sativa L)*. Malang : Universitas Brawijaya. Vol. 1. No. 8 : 4-9
- Barus,T.A. 1996. *Metode Ekologis Untuk Menilai Kualitas suatu Perairan Lotik*. Fakultas MIPA USU. Medan.
- Bonifasius dan Nainggolan. 2009. *Perbandingan Uji Tukey (Uji Beda Nyata Jujur (BNJ)) Dengan Uji Fisher (Uji Beda Nyata Terkecil (BNT)) Dalam Uji Lanjut Data Rancangan Percobaan*. *Majalah Ilmiah Panorama Nusantara*. 1(1): 11-17.
- Boyd, C.E. 1982. *Water Quality and Warmwater Fish Ponds*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University.
- Connell, D.W. dan G.J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi lingkungan*. UI Press. Jakarta.
- Darmono, 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit UI-Press. Jakarta.
- Dewi, R.K., R.M. Winny., dan A. Zulfikar. 2013. *Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi Orthofosfat Pada Deterjen Menggunakan Kiambang*. Maritime Raja Ali Haji of University.
- Dewi, Y. S. 2012. Efektivitas Jumlah Rumpun Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solm*) Dalam Pengendalian Limbah Cair Domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 13(2): 151 – 158.
- Djohan, A. J., dan Devy, H. 2013. *Pengelolaan Limbah Rumah Sakit*. Salemba Medika. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air. bagi Pengelola Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius: Yogyakarta.

- Elfinurfajri, F. 2009. *Struktur Komunitas Fitoplankton Serta Keterkaitannya dengan Kualitas Perairan di Lingkungan Tambak Udang Intensif*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- EPA. 2000. *Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Ohio.*
- Estiarana, 2001. Tanaman Air Apu-apu Water Lettuce Pistia stratiotes L.
- Frasawi, A., Robert, R. dan Juliaan, W. 2013. *Potensi Budidaya Ikan di Waduk Embung Klimalu Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat: Kajian Kualitas Fisika Kimia Air. Jurnal Budidaya Perairan Vol. 1 No. 3: 24-30.*
- Febrianty, E. 2011. *Produktivitas Alga Hydrodictyon Pada Sistem Perairan Tertutup (Closed System)*. Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Fachrurozi, M. L. B dan D. Suryani. 2010. *Pengaruh Variasi Biomassa Pistia stratoites L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu Di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. Jurnal Kesimas 4 (1) 1-16.*
- Ghufran, M. H., dan Kordi, K. 2010. *Nikmat Rasanya Nikmat Untungnya Pintar Budi Daya Ikan Di Tambak Secara Intensif*. Andi: Yogyakarta.
- Gumail, P. 1999. *Pengaruh Pemberian Bahan Organik Dengan Inokulasi trichoderma viridae Dan Pemupukan P Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq)*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hanafiah, K.A. 1991. *Rancangan Percobaan: teori dan aplikasi*. Cetakan ke-5. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta Utara.
- Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. BS Vol. 44 No.1 : 27-40*
- Hardyanti, N., dan S. S. Rahayu. 2007. *Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Enceng Gondok (Eichhornia crassipes) Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry. Jurnal Presipitasi. 2(1): 28 – 33.*
- Haridjaja, O., Wahyu, P., dan Ratih, S. 2014. *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Dan Kiambang (Salvinia molesta D.Mitch) Untuk Meningkatkan Kualitas Air Greywater Hidroponik Tanaman Selada (Lactuca sativa L.)*. IPB: Bogor.
- Haslam, S.M. 1997. *River Pollution an Ecological Perspective*. London: Belhaven Press.
- Herawati, N. 2007. *Analisis Risiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo Ke Badan Air*. TESIS Universitas Diponegoro: Semarang.

- Hermawati, E., Wiryanto dan Solichatun. 2005. *Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) dan genjer (Limnocharis flava L.)*. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta. *Jurnal BioSMART Vol. 7. No. 2 Hal. 115-124*.
- Herlambang, A. 2006. Pencemaran Air Dan Strategi Penanggulangannya. *JAI*. 2(1): 16 – 29.
- Hidayat, Y. 2001. *Tingkat Kesuburan Perairan Berdasarkan Kandungan Unsur Hara N dan P serta Struktur Komunitas Fitoplankton di Situ Tonjong, Bojonggede, Kabupaten Bogor, Jawa Barat*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Holm, L. G., Plucknett, Pancho & Herberger. 1977. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. East-West Center/University Press of Hawaii. 609 pp.
- Ikawati, S., Andi, Z., dan Diana, A. 2013 . *Efektivitas Dan Efisiensi Fitoremediasi Pada Deterjen Dengan Menggunakan Tanaman Genjer (Limnocharis Flava)*. Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Indah, L. S. B. Hendarto., dan P Soedarsono. 2014. *Kemampuan Eceng Gondok (Eichhornia sp) Kangkung Air (Ipomoea aquatic) dan Kayu Apu (Pistia sp) Dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium)*. *Journal of Maquares 3 (1): 1-6*.
- Iskandar. 2009. *Metode Penelitian Kualitatif*. Jakarta: Gaung persada press
- Ismanto, F. N. 2005. *Pemanfaatan Eceng Gondok (Eicchornia crassipes) Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) dan Kangkung (Ipomea aquatic) Secara Bertahap dalam Memperbaiki Kualitas Air Limbah Kantin*. ITB. Bogor. 62 Halaman
- Janie, B. S. L., dan W. P. Rahayu. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius: Yogyakarta.
- Johnson, D.C. and Uriu Stephens, R.S., Westland, J.A., 1990. *Properties and Uses of Bacterial Cellulose Produced in Fermenters*, American Chemical Society Meeting, Boston.
- Lakitan, B. 2007. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada. Jakarta
- LBN-LIPI. 1981. *Tumbuhan Air*. Lembaga Biologi Nasional-LIPI. Bogor. 83p.
- Lenisastri. 2000. *Penggunaan Metode Akumulasi Satuan Panas (Heat Unit) Sebagai Dasar Penelitian Umur Panen Sembilan Varietas Kacang Tanah (Arachis Hypogaea L.)*. (Skripsi). Departemen Budi Daya Pertanian. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mahida, U. N. 1986. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. C.V Rajawali; Jakarta.

- Majid, FZ. 2002. *Aquatic Weed:Utility And Development*. India: Agro Botanical Publishers
- Marista, E., Siti, K. dan Riza, L. 2013. *Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (Musa paradisiaca var. Nipah) di Kota Singkawang. Protobiont Vol 2 (2) : 93-10.*
- Mitchel, L.A., Okwute, S.K., Gollapudie, S.R., Drake, S., dan Anova, E. (1988). Antimicrobial pterocarpanes of Nigeria Erythrina mid breadii. *Phytochemical*, 27(11) : 3449-3452.
- Momon, M.H. dan L., Meilani. 1997. *Tingkat pencemaran air limbah rumah tangga. Jurnal Penelitian Pemukiman* 13 (1): 34-42.
- Muhajir, M.S. 2013. *Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (Typha anguaticia) Dengan Sistem Constructed Wetland*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Mursalin. 2007. *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia stratiotes), Kiambang (Salvina molesta) dan Gulma Itik ( Lemna perpusilla) dalam Memperbaiki Kondisi Air Limbah Kantin*. Departemen Menejemen Sumber Daya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Ni'ma, N., Niniek, W dan Ruswahyuni. 2014. *Kemampuan Apu-Apu (Pistia Sp.) Sebagai Bioremediator Limbah Pabrik Pengolahan Hasil Perikanan (Skala Laboratorium. Diponegoro Journal Of Maquares Volume 3, Nomor 4, Halaman 257-264 Management Of Aquatic Resources*.
- Neuenschwander, P., M. H. Julien; T. D. Center dan M. P. Phill. 2009. 17. *Pistia stratiotes L. (Araceae)*.
- Nonji. 2006. *Tiada Kehidupan di Bumi Tanpa Keberadaan Plankton*. LIPI. Pusat Penelitian Oseanografi, Jakarta.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah Dan Air*. Penerbit: ITB. Bandung.
- Novasari, F. 2011. *Karakteristik Dan Analisis Kandungan Nitrat Tanaman Pakis Sayur (Pleocnemia irregularis (C.Presl) Holtum) Di Kecamatan Dramaga, Bogor*. Skripsi. Departemen Agronomi dan Hortikultura. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nuriasasmita. 2012. *Penyebaran Tumbuhan Hiperakumulator Perak Pistia Stratiotes*.
- Paramitha, P., M. Shovitri., N. D. Kuswyasari. 2012. *Biodegradasi Limbah Organik Pasar Dengan Menggunakan Mikroorganisme Alami Tangki Septik. Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 1(1): 23 – 26.
- Patty, S.I. 2013. *Kadar Fosfat, Nitrat dan Oksigen Terlarut di Perairan Pulau Talise, Sulawesi Utara. Jurnal Ilmiah Platax*. 1(4):167-176.

- Phatoni. 2000. *Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan, Hasil dan Kandungan Vitamin Buah Tanaman Tomat (Lycopersicon esculentum Mill)*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.
- Prasetyo dan E.N.Kusumaningrum. 2006. *Mikroalga Dan Kondisi Fisik Kimiawi Situ Babakan, Jagakarsa Jakarta Selatan*.
- Pratiwi, M. C. 2010. *Pemanfaatan Kangkung Air (Ipomes aquatic) Dan Lumpur Aktif Pabrik Tekstil Dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Prawiro, R. 1988. *Ekologi Lingkungan Pencemaran*. Satya Wacana. Semarang.
- Purnamasari, M. 2014. *Efektivitas Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) Dan Kayu Apu (Pistia stratiotes) Dalam Menurunkan Kandungan Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Dan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) Pada Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang: Malang.
- Puslitbang Pekerjaan Umum Sumber Daya Air. 2000. *Teknologi Daur Ulang Limbah Non Kakus*. Bandung.
- Rossiana, S., Titin., Y, dan Dhahiyat. 2007. *Fitoremediasi Limbah Cair dengan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi dengan Sengon (Paraserianthes falcataria L. Nelsen) Bermikoriza*. Laporan Penelitian. Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Safitri, R. 2009. *Phytoremediasi Greywater Dengan Tanaman Kayu Apu (Pistia stratiotes) Dan Tanaman Kiambang (Salvina molesta) Serta Pemanfaatannya Untuk Tanaman Selada (Lactuca sativa) Secara Hidroponik*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Salisbury, F. B dan C.W. ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Sampurna, I. P., dan T. S. Nindhia. 2013. *Penuntun Praktikum Rancangan Percobaan Dengan SPSS. Buku Praktikum*. 1(1): 1 – 160.
- Sandriati, D. 2010. *Kajian Pemanfaatan Tanaman Air Eceng Gondok (Eicchornnia crassipes) dan Kiambang (Salvina molesta) Untuk Menurunkan Kadar Nutrien pada Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Departemen Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Shardendu, S. Sufia Irfan, D.Sayantan dan Deepti Sharma. 2009. *Luxury uptake and Removal of Phosphorus by Pistia stratiotesL. In the Kabar Wetland of the Eastern Indian Gengetic Plain*. India : Laboratory of Enviroment and Biotechnology. Vol. 3. No. 4 : 5-21.
- Sheehan, D. 1997. *Bioremediation Protocols*. Humana Press Inc. New Jersey.
- Siregar, S. A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Kanisius: Yogyakarta.

- SNI. 1990. *Metode Pengukuran Kualitas Air*. Dinas Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Tesis. Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Prees.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. IPB. Bogor.
- Suprpto. 2011. *Metode Analisis Parameter Kualitas Air Untuk Budidaya Udang*. Shrimp Club Indonesia.
- Suryadiputra, I.N.N. 1995. *Pengantar Kuliah Pengolahan Air Limbah : Pengolahan Air Limbah dengan Metode Kimia (Koagulasi dan Flokulasi)*. Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Susilaningsih, D. 1992. *Pemanfaatan Tumbuhan Hydrilla verticillata dan Eichornia crassipes sebagai Salah satu Usaha Pengendalian Pencemaran Logam Kromium (Cr) dari Limbah Pelapisan Logam*. Skripsi. Fakultas Biologi. Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto.
- Syamsurisal. 2011. *Studi Beberapa Indeks Komunitas Makrozoobenthos di Hutan Mangrove Kelurahan Coppo Kabupaten Barru*, SKRIPSI. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Jurusan Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Tjokrokusumo, KRT. 1995. *Pengantar Environmental Engineering*. Yogyakarta:STTL. Yogyakarta.
- Ulfin, I dan W. Widya. 2005. *Studi Penyerapan Kromium Dengan Kayu Apu (Pistia stratiotes)* ITS. Surabaya. *Akta Kimindo* Vol.1 No. 1 Oktober 2005. 41-45.
- Widiyati, A. 2010. *Peningkatan Produktivitas Kolam Pendederan Ikan Nila (Oreochromis niloticus) dengan Pemupukan Organik*. Laporan Ristek Balai Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya Air Tawar: Bogor.
- Widyaningsih. 2012. *Pengaruh Variasi Biomassa Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) Terhadap Kandungan Krom (Cr) Limbah Cair Industri Sablon "Temenan" Monjali Yogyakarta*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wignyanto., N. Hidayat dan A. Ariningrum. 2009. *Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan serta Perencanaan Unit Pengolahannya Kajian Pengaturan Kecepatan Aerasi dan Waktu Inkubasi*. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 10(2): 128 – 185.

Wijayanti, M. H. 2007. *Kajian Kualitas Perairan Di Pantai Kota Bandar Lampung Berdasarkan Kom-unitas Hewan Makrobenthos*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro Semarang.

Wikipedia. 2015. Kayu Apu. [http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Pistia\\_stratiotes0.Jpg](http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Pistia_stratiotes0.Jpg). Diakses pada tanggal 15 Januari 2015.

Winarno, F.G. 1984. *Bahan Pangan Terfermentasi*. IPB. Bogor.

Wiryani, E. 2006. *Analisis Kandungan Limbah Cair Pabrik Tempe*. Skripsi.. Fakultas MIPA UNDIP Semarang.

Wolverton, B.C. and M.M. Mcknown. 1975. *Water Hyacinth For Removal Of Phenol From Polluted Water*. *Journal Aquatic Botany* (10): 72721.

Yusuf, G. 2008. *Bioremediasi Limbah Rumah Tangga dengan Sistem Simulasi Tanaman Air*. *Jurnal Bumi Lestari* 8 (2): 136-144.

\_\_\_\_\_. 2001. *Proses Bioremediasi Limbah Rumah Tangga dalam Skala Kecil dengan Kemampuan Tanaman Air pada Sistem Simulasi*. Tesis. Istitut Pertanian Bogor.

Zubair, A., Ardi, A., dan Rosmiati. 2014. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Aliran Batch*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar.



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Data Pengukuran Suhu Selama Penelitian

Data Hasil Pengukuran Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) Pada Pukul 06.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
PENUTUPAN 100% (A)	1	20.4	20.6	20.5
	2	22.8	23.0	23.1
	3	21.4	21.5	21.5
	4	23.0	22.9	23.0
	5	22.2	22.1	22.7
	6	20.6	20.6	20.6
	7	20.1	20.4	20.3
	8	20.8	20.5	20.7
PENUTUPAN 75% (B)	1	20.5	20.6	20.4
	2	23.6	23.9	23.7
	3	21.3	21.4	21.4
	4	22.9	22.8	22.9
	5	22.3	22.4	22.1
	6	20.6	20.6	20.5
	7	20.4	20.3	20.6
	8	20.7	20.6	20.9
PENUTUPAN 50% (C)	1	20.6	20.7	20.5
	2	21.3	21.7	22.1
	3	21.6	21.5	21.3
	4	22.6	22.6	22.8
	5	21.8	22.0	22.1
	6	20.3	20.3	20.6
	7	20.4	20.5	20.8
	8	20.9	20.8	20.4
PENUTUPAN 25% (D)	1	20.5	20.4	20.3
	2	22.6	22.6	22.4
	3	21.8	21.6	21.7
	4	22.8	22.7	22.7
	5	22.0	21.8	21.8
	6	20.4	20.2	20.4
	7	20.8	20.8	20.7
	8	20.3	20.4	20.6
PENUTUPAN 0% (K)	1	20.5	20.7	20.6
	2	21.7	21.6	21.8
	3	21.7	21.6	21.7
	4	22.6	22.6	22.7
	5	21.7	21.8	22.0
	6	20.1	20.2	20.2
	7	20.2	20.5	20.5
	8	20.9	20.7	20.7

## Lanjutan Lampiran 1.

Data Hasil Pengukuran Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) Pada Pukul 12.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
PENUTUPAN 100% (A)	1	24.8	24.3	24.6
	2	25.9	26.1	26.2
	3	26.3	26.2	26.5
	4	27.8	27.4	27.3
	5	24.9	24.9	24.8
	6	24.4	24.7	25.0
	7	25.0	25.2	25.8
	8	26.7	26.7	26.9
PENUTUPAN 75% (B)	1	24.1	24.1	24.7
	2	25.4	25.9	25.6
	3	25.9	26.1	26.1
	4	28.1	27.2	27.3
	5	24.3	25.0	24.9
	6	24.7	24.7	24.8
	7	24.8	25.2	24.8
	8	27.3	26.8	27.3
PENUTUPAN 50% (C)	1	24.7	24.4	24.5
	2	25.3	25.7	26.0
	3	26.5	26.3	26.2
	4	27.3	27.1	27.1
	5	24.3	25.1	24.9
	6	24.1	24.9	24.4
	7	24.5	25.1	24.9
	8	26.9	27.2	26.1
PENUTUPAN 25% (D)	1	24.1	24.6	24.1
	2	26.1	25.4	25.5
	3	26.4	25.8	25.8
	4	27.2	27.0	26.3
	5	25.2	24.3	24.4
	6	24.7	23.9	24.1
	7	25.5	24.6	24.5
	8	26.6	26.1	25.7
PENUTUPAN 0% (K)	1	24.1	24.5	24.6
	2	25.3	25.6	25.5
	3	25.7	25.8	26.0
	4	27.0	26.3	27.0
	5	24.2	24.5	24.5
	6	24.4	24.3	24.6
	7	24.3	24.6	25.2
	8	26.4	25.5	27.1

Lanjutan Lampiran 1.

Data Hasil Pengukuran Suhu (°C) Pada Pukul 18.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	23.0	23.7	23.4
	2	24.7	24.5	24.2
	3	24.8	24.5	24.2
	4	25.9	25.6	26.6
	5	23.6	23.5	23.6
	6	24.2	24.1	23.9
	7	23.9	24.4	24.6
	8	24.4	23.9	24.5
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	23.0	23.5	23.7
	2	24.8	24.5	24.5
	3	24.7	24.5	24.5
	4	26.2	25.6	25.7
	5	23.3	23.5	23.8
	6	22.4	22.5	22.3
	7	23.3	23.5	23.5
	8	24.1	23.9	24.0
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	22.6	22.9	23.3
	2	23.3	23.6	23.5
	3	25.3	25.8	25.6
	4	25.4	25.9	25.5
	5	23.3	23.8	23.9
	6	23.4	23.1	23.5
	7	23.6	23.3	23.5
	8	23.4	23.8	24.2
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	22.7	22.6	22.4
	2	23.2	23.3	23.1
	3	23.6	23.3	23.8
	4	25.5	25.3	25.1
	5	23.5	23.3	23.1
	6	23.6	23.2	23.3
	7	24.3	23.6	23.3
	8	23.7	23.6	23.3
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	23.4	23.2	23.6
	2	24.3	24.0	24.5
	3	24.2	24.1	24.5
	4	25.2	24.9	25.7
	5	22.9	22.8	22.6
	6	23.0	23.0	23.8
	7	23.4	23.5	23.7
	8	23.0	23.1	23.3

Lampiran 2. Data Pengukuran Derajat Keasaman/pH Selama Penelitian

Data Hasil Pengukuran Derajat Keasaman/pH Pada Pukul 06.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	5.91	5.95	5.87
	2	5.65	5.85	5.71
	3	5.74	5.78	5.78
	4	5.94	6.69	6.27
	5	5.74	6.45	6.69
	6	5.92	6.66	6.70
	7	6.21	6.85	6.83
	8	6.75	6.80	6.78
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	6.03	5.84	5.77
	2	5.66	5.67	6.02
	3	5.97	6.01	5.98
	4	6.28	6.55	6.37
	5	6.40	6.45	6.45
	6	6.66	6.50	6.49
	7	6.84	6.92	6.79
	8	6.86	6.90	6.87
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	5.60	6.06	5.87
	2	5.79	6.04	5.73
	3	5.81	5.88	6.01
	4	6.39	6.38	6.38
	5	6.44	6.47	5.44
	6	6.47	6.56	6.19
	7	6.63	6.83	6.47
	8	6.62	6.68	6.59
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	5.97	5.87	5.55
	2	5.75	5.83	5.97
	3	5.83	5.97	5.88
	4	6.27	5.98	5.98
	5	6.52	6.22	6.38
	6	6.46	6.46	6.49
	7	6.83	6.48	6.56
	8	6.58	6.67	6.56
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	5.93	5.73	6.07
	2	5.45	5.56	5.58
	3	5.66	5.56	5.58
	4	6.49	6.59	6.57
	5	6.46	6.42	6.51
	6	6.55	6.48	6.62
	7	6.87	6.85	6.88
	8	6.88	6.89	6.90

## Lanjutan Lampiran 2.

## Data Hasil Pengukuran Derajat Keasaman/pH Pada Pukul 12.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	6.21	6.15	6.04
	2	6.41	6.12	6.01
	3	5.79	6.33	6.10
	4	6.16	6.66	6.75
	5	6.41	6.72	6.68
	6	5.99	6.75	6.76
	7	6.55	6.85	7.09
	8	6.24	6.97	7.12
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	6.17	6.05	6.28
	2	6.06	6.16	6.41
	3	6.30	6.34	5.90
	4	6.64	6.64	6.67
	5	6.73	6.73	6.71
	6	6.73	6.72	6.70
	7	7.07	6.89	6.87
	8	7.24	7.03	6.98
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	6.39	6.42	6.44
	2	6.43	6.30	6.17
	3	6.10	6.23	6.22
	4	6.61	6.72	6.70
	5	6.72	6.70	6.64
	6	6.76	6.77	6.30
	7	6.81	6.90	6.58
	8	7.03	7.06	7.01
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	5.35	6.26	6.33
	2	6.01	6.46	6.21
	3	6.25	5.79	6.27
	4	6.67	6.33	6.61
	5	6.74	6.69	6.74
	6	6.81	6.48	6.58
	7	6.88	6.28	6.65
	8	6.96	6.67	6.65
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	6.61	6.29	6.77
	2	5.84	6.23	5.85
	3	6.18	6.29	6.40
	4	6.69	6.54	6.63
	5	6.71	6.73	6.77
	6	6.72	6.74	6.81
	7	6.92	6.77	7.05
	8	7.12	6.85	7.12

## Lanjutan Lampiran 2.

## Data Hasil Pengukuran Derajat Keasaman/pH Pada Pukul 18.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	5.50	5.72	5.59
	2	5.75	6.13	6.27
	3	6.51	6.75	6.64
	4	6.50	6.78	6.75
	5	6.64	6.82	6.89
	6	6.80	7.03	7.01
	7	6.97	7.01	6.99
	8	6.89	7.02	6.92
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	5.63	5.74	5.43
	2	6.14	6.04	6.03
	3	6.65	6.71	6.73
	4	6.75	6.76	6.78
	5	6.88	6.85	6.86
	6	7.04	7.03	7.01
	7	6.99	6.93	6.92
	8	6.99	7.03	7.07
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	5.66	5.59	5.74
	2	6.07	6.24	6.29
	3	6.76	6.74	6.67
	4	6.80	6.76	6.53
	5	6.85	6.83	6.74
	6	7.05	7.05	6.90
	7	7.05	6.99	6.97
	8	7.04	7.01	7.01
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	5.58	5.21	5.55
	2	6.16	6.03	6.27
	3	6.74	6.66	6.64
	4	6.79	6.70	6.76
	5	6.83	6.83	6.85
	6	7.03	6.85	6.97
	7	6.97	7.06	7.06
	8	7.01	6.92	6.90
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	5.81	5.52	5.67
	2	6.16	5.64	5.93
	3	6.77	6.69	6.67
	4	6.75	6.79	6.74
	5	6.82	6.84	6.88
	6	7.03	7.02	7.04
	7	7.03	7.04	6.99
	8	7.00	6.94	6.99

Lampiran 3. Data Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut/DO (mg/l) Selama Penelitian

Data Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut/DO (mg/l) Pada Pukul 06.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	3.08	2.99	3.04
	2	3.12	3.05	3.26
	3	3.18	3.15	3.22
	4	3.25	3.23	3.23
	5	3.26	3.32	3.28
	6	3.84	3.93	3.88
	7	4.27	4.34	4.48
	8	4.69	4.78	4.73
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	3.28	3.34	3.49
	2	3.47	3.51	3.54
	3	3.43	3.27	3.32
	4	3.68	3.64	3.73
	5	3.59	3.53	3.67
	6	3.81	3.77	3.79
	7	3.89	3.82	3.84
	8	4.15	4.28	4.09
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	3.36	3.57	3.88
	2	3.18	3.32	3.39
	3	3.38	3.54	3.68
	4	3.31	3.39	3.53
	5	3.38	3.45	3.67
	6	3.55	3.76	3.69
	7	3.58	3.69	3.61
	8	3.98	4.06	4.11
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	3.12	3.28	3.19
	2	3.34	3.57	3.61
	3	3.45	3.61	3.79
	4	3.81	3.69	3.59
	5	3.68	3.48	3.51
	6	3.75	3.68	3.62
	7	3.43	3.39	3.41
	8	3.87	3.90	3.98
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	3.31	3.09	3.19
	2	2.89	2.69	2.78
	3	3.06	3.04	3.10
	4	2.49	2.56	2.76
	5	3.26	3.01	2.99
	6	3.03	2.86	2.67
	7	3.16	3.02	2.96
	8	3.10	3.07	3.13

## Lanjutan Lampiran 3.

## Data Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut/DO (mg/l) Pada Pukul 12.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
<b>PENUTUPAN 100% (A)</b>	1	4.81	4.79	4.84
	2	4.79	4.52	4.57
	3	4.47	4.19	3.98
	4	4.17	4.49	4.32
	5	4.50	4.52	4.58
	6	4.59	4.65	4.78
	7	4.88	4.79	4.86
	8	5.29	5.31	5.23
<b>PENUTUPAN 75% (B)</b>	1	4.89	4.93	4.86
	2	4.93	4.98	4.82
	3	5.02	5.05	4.97
	4	5.12	5.21	5.11
	5	5.13	5.17	5.08
	6	5.21	5.18	5.15
	7	5.34	5.25	5.36
	8	5.36	5.27	5.32
<b>PENUTUPAN 50% (C)</b>	1	4.32	4.48	4.54
	2	4.12	3.99	4.34
	3	4.01	3.89	4.21
	4	4.09	3.97	4.28
	5	4.21	4.09	4.37
	6	4.49	4.38	4.61
	7	4.64	4.59	4.73
	8	5.05	4.89	5.14
<b>PENUTUPAN 25% (D)</b>	1	4.61	4.58	4.44
	2	4.52	4.47	4.39
	3	4.49	4.43	4.35
	4	4.36	4.36	4.19
	5	4.38	4.41	4.32
	6	4.42	4.47	4.43
	7	4.53	4.55	4.49
	8	4.67	4.59	4.64
<b>PENUTUPAN 0% (KONTROL)</b>	1	4.41	4.39	4.34
	2	4.36	4.31	4.30
	3	4.23	4.19	4.27
	4	4.19	4.13	4.23
	5	4.10	4.15	4.25
	6	4.03	4.11	4.21
	7	4.12	4.19	4.29
	8	4.14	4.20	4.30

## Lanjutan Lampiran 3.

## Data Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut/DO (mg/l) Pada Pukul 18.00 WIB

PERLAKUAN	PENGAMATAN HARI KE-	ULANGAN		
		I	II	III
PENUTUPAN 100% (A)	1	3.86	3.64	3.41
	2	3.54	3.29	3.19
	3	3.44	3.32	3.26
	4	3.34	3.29	3.22
	5	3.53	3.43	3.32
	6	3.68	3.59	3.48
	7	3.62	3.52	3.45
	8	3.72	3.68	3.64
PENUTUPAN 75% (B)	1	3.66	3.55	3.37
	2	3.58	3.48	3.34
	3	3.49	3.41	3.36
	4	3.48	3.43	3.31
	5	3.51	3.49	3.39
	6	3.69	3.61	3.58
	7	3.41	3.43	3.38
	8	3.43	3.49	3.45
PENUTUPAN 50% (C)	1	3.45	3.57	3.48
	2	3.35	3.43	3.51
	3	3.64	3.56	3.63
	4	3.75	3.67	3.68
	5	3.85	3.72	3.67
	6	3.75	3.68	3.59
	7	4.03	3.89	3.86
	8	4.04	4.01	3.97
PENUTUPAN 25% (D)	1	3.29	3.37	3.34
	2	3.38	3.48	3.44
	3	3.51	3.54	3.61
	4	3.66	3.69	3.74
	5	3.79	3.87	3.98
	6	3.69	3.76	3.83
	7	3.54	3.69	3.85
	8	3.51	3.70	3.72
PENUTUPAN 0% (KONTROL)	1	3.26	3.43	3.32
	2	3.21	3.32	3.24
	3	3.17	3.27	3.18
	4	3.28	3.30	3.31
	5	3.21	3.18	3.24
	6	3.19	3.13	3.20
	7	3.15	3.10	3.18
	8	3.09	3.07	3.12

#### Lampiran 4. Data Hasil Pengamatan Ketinggian Air (cm) Pada Aquarium Selama Penelitian

Perlakuan	Penutupan 100% (A)					Penutupan 75% (B)					
Waktu	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	
r	1	6	5.9	5.8	5.5	5.4	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5
	2	6	5.8	5.7	5.5	5.3	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5
	3	6	5.9	5.7	5.6	5.5	5.9	5.7	5.5	5.4	5.3
Rerata	6	5.87	5.73	5.53	5.4	5.9	5.76	5.68	5.53	5.43	

Perlakuan	Penutupan 50% (C)					Penutupan 25% (D)					
Waktu	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	
r	1	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5
	2	5.8	5.7	5.4	5.3	5.2	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3
	3	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4
Rerata	5.8	5.7	5.47	5.37	5.27	5.8	5.73	5.6	5.5	5.4	

Perlakuan	Penutupan 0% (K)					
Waktu	0	2	4	6	8	
r	1	5.8	5.7	5.6	5.4	5.3
	2	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4
	3	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4
Rerata	5.8	5.7	5.6	5.47	5.37	

#### Tabel Data Penyusutan Air Pada Aquarium Percobaan Selama Penelitian

Lama Hari	Penyusutan Air Pada Aquarium (cm)				
	Penutupan 100%	Penutupan 75%	Penutupan 50%	Penutupan 25%	Penutupan 0%
2	0.13	0.14	0.1	0.007	0.1
4	0.14	0.08	0.2	0.13	0.1
6	0.2	0.15	0.1	0.1	0.13
8	0.13	0.096	0.1	0.1	0.1

Penutupan 100%

Penutupan 75%

Penyusutan air 2 hari =  $6 - 5.87 = 0.13\text{cm}$

Penyusutan air 2 hari =  $5.9 - 5.76 = 0.14\text{cm}$

Penyusutan air 4 hari =  $5.87 - 5.73 = 0.14\text{cm}$

Penyusutan air 4 hari =  $5.76 - 5.68 = 0.08\text{cm}$

Penyusutan air 6 hari =  $5.73 - 5.53 = 0.2\text{cm}$

Penyusutan air 6 hari =  $5.68 - 5.53 = 0.15\text{cm}$

Penyusutan air 8 hari =  $5.53 - 5.4 = 0.13\text{cm}$

Penyusutan air 8 hari =  $5.53 - 5.43 = 0.096\text{cm}$

Penutupan 50%

Penutupan 25%

Penyusutan air 2 hari =  $5.8 - 5.7 = 0.1\text{cm}$

Penyusutan air 2 hari =  $5.8 - 5.73 = 0.007\text{cm}$

Penyusutan air 4 hari =  $5.7-5.47=0.2\text{cm}$       Penyusutan air 4 hari =  $5.73-5.6= 0.13\text{cm}$

Penyusutan air 6 hari =  $5.47-5.37=0.1\text{cm}$       Penyusutan air 6 hari =  $5.6-5.5= 0.1\text{cm}$

Penyusutan air 8 hari =  $5.37-5.27=0.1\text{cm}$       Penyusutan air 8 hari =  $5.5-5.4= 0.1\text{cm}$

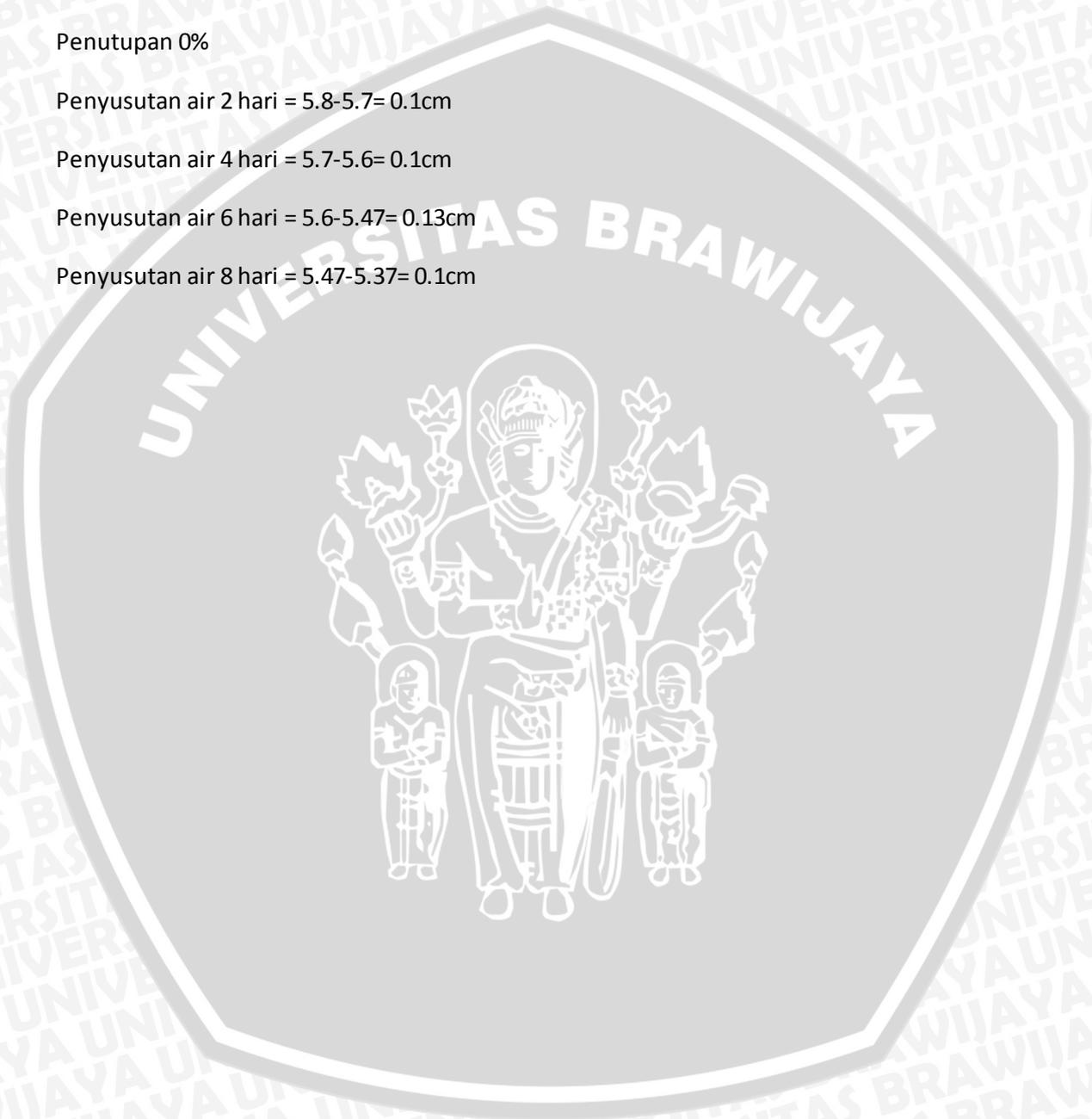
Penutupan 0%

Penyusutan air 2 hari =  $5.8-5.7= 0.1\text{cm}$

Penyusutan air 4 hari =  $5.7-5.6= 0.1\text{cm}$

Penyusutan air 6 hari =  $5.6-5.47= 0.13\text{cm}$

Penyusutan air 8 hari =  $5.47-5.37= 0.1\text{cm}$



**Lampiran 5. Data Hasil Pengamatan Penurunan Kadar Nitrat Selama Penelitian**

Perlakuan	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)
-----------	--------------------	-------------------



Waktu	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	
r	1	6.121	5.375	4.141	3.324	2.531	6.121	4.722	4.105	3.101	1.746
	2	5.321	4.313	3.714	2.752	2.031	5.321	4.204	3.014	2.104	1.376
	3	5.321	4.301	3.211	2.643	2.127	5.321	4.246	3.121	2.358	1.436
<b>Sub Total</b>	<b>16.763</b>	<b>13.989</b>	<b>11.066</b>	<b>8.719</b>	<b>6.689</b>	<b>16.763</b>	<b>13.172</b>	<b>10.240</b>	<b>7.563</b>	<b>4.576</b>	
<b>Total</b>	<b>57.226</b>					<b>56.146</b>					

Perlakuan	Penutupan 50% (C)					Penutupan 25% (D)					
Waktu	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	
r	1	6.121	4.913	3.361	2.459	1.021	6.121	5.561	4.354	3.639	2.528
	2	5.321	4.172	3.167	1.913	1.023	5.321	4.646	4.023	3.526	2.351
	3	5.321	4.221	3.075	2.035	1.024	5.321	4.324	3.981	3.282	2.224
<b>Sub Total</b>	<b>16.763</b>	<b>13.306</b>	<b>9.603</b>	<b>6.407</b>	<b>3.068</b>	<b>16.763</b>	<b>14.531</b>	<b>12.358</b>	<b>10.447</b>	<b>7.103</b>	
<b>Total</b>	<b>49.147</b>					<b>61.202</b>					

Perlakuan	Penutupan 0% (K)					
Waktu	0	2	4	6	8	
r	1	6.121	5.973	4.781	4.294	3.474
	2	5.321	4.965	4.542	3.872	3.295
	3	5.321	4.784	4.478	3.794	3.106
<b>Sub Total</b>	<b>16.763</b>	<b>15.722</b>	<b>13.801</b>	<b>11.96</b>	<b>9.875</b>	
<b>Total</b>	<b>68.121</b>					

### Keterangan : r : Ulangan

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 3.106)^2}{5 \times 5 \times 3} = \frac{(288.01)^2}{75} = 1105.997$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{(Y)^2}{abn} \\ &= (6.121^2 + 5.321^2 + \dots + 3.106^2) - 1105.997 \\ &= 1248.503 - 1105.997 \\ &= 142.507 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^r \frac{Y_i^2}{bn} - \frac{(Y)^2}{abn} \\ &= \frac{(57.226^2 + 52.314^2 + \dots + 68.121^2)}{3 \times 5} - \frac{(288.01)^2}{5 \times 3 \times 5} \\ &= 1120.877 - 1105.997 \\ &= 14.880 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^r \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(16.763^2 + 13.989^2 + \dots + 9.875^2)}{3} - \frac{(57.226^2 + 52.314^2 + \dots + 68.121^2)}{15} \\ &= \frac{3721.799}{3} - \frac{16813.15}{15} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1240.599 - 1120.877 \\
 &= 119.723 \\
 \text{JK Waktu (Penutupan 100\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(16.763^2 + 13.989^2 + \dots + 6.689^2)}{3} - \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 2.127)^2}{15} \\
 &= \frac{719.910}{3} - \frac{3274.815}{15} \\
 &= 239.970 - 218.321 \\
 &= 21.649
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Waktu (Penutupan 75\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(16.763^2 + 13.172^2 + \dots + 4.576^2)}{3} - \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 1.436)^2}{15} \\
 &= \frac{637.496}{3} - \frac{2736.755}{15} \\
 &= 212.498 - 182.450 \\
 &= 30.048
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Waktu (Penutupan 50\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(16.763^2 + 13.306^2 + \dots + 3.068^2)}{3} - \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 1.024)^2}{15} \\
 &= \frac{600.727}{3} - \frac{2415.428}{15} \\
 &= 200.242 - 161.028 \\
 &= 39.214
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Waktu (Penutupan 25\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(16.763^2 + 14.531^2 + \dots + 7.013^2)}{3} - \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 2.224)^2}{15} \\
 &= \frac{804.461}{3} - \frac{3745.685}{15} \\
 &= 268.153 - 249.712 \\
 &= 18.441
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Waktu (Penutupan 0\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(16.763^2 + 15.722^2 + \dots + 9.875^2)}{3} - \frac{(6.121 + 5.321 + \dots + 3.106)^2}{15} \\
 &= \frac{959.204}{3} - \frac{4640.471}{15} \\
 &= 319.735 - 309.365 \\
 &= 10.370
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JK Total} - (\text{JK Perlakuan} + \text{JK Waktu}) \\
 &= 142.507 - (14.880 + 119.723) \\
 &= 7.904
 \end{aligned}$$

Tabel Sidik Ragam (ANOVA) Kadar Nitrat (NO<sub>3</sub>) Pada Media Tanam Selama Penelitian

Sumber Keragaman	DB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5 %	1%
Perlakuan (Penutupan Tanaman)	4	14.880	3.720	23.533**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan Tanaman	20	119.723	5.986	37.869**	1.78	2.27
Waktu dalam Penutupan 100%	4	21.649	5.412	34.239**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 75%	4	30.048	7.512	47.523**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 50%	4	39.214	9.803	62.019**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 25%	4	18.441	4.610	29.166**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 0%	4	10.370	2.592	16.401**	2.56	3.72
Galat	50	7.904	0.158			
Total	74	142.5066				

Keterangan : \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

### Perhitungan BNT (Beda Nyata Terkecil)

#### a. BNT Perlakuan Penutupan Tanaman

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 5\%} &= t(0.05) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan}}} \\
 &= 2.008 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.224}{3}} \\
 &= 2.008 \times \sqrt{0.158} \\
 &= 2.008 \times 0.324 \\
 &= 0.652
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 1\%} &= t(0.01) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan}}} \\
 &= 2.677 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.224}{3}} \\
 &= 2.677 \times \sqrt{0.158} \\
 &= 2.677 \times 0.145 \\
 &= 0.869
 \end{aligned}$$

#### b. BNT Waktu dalam Penutupan Tanaman

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 5\%} &= t(0.05) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan} \times \text{perlakuan}}} \\
 &= 2.008 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.158}{3 \times 5}} \\
 &= 2.008 \times \sqrt{0.021} \\
 &= 2.008 \times 0.145 \\
 &= 0.291
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 1\%} &= t(0.01) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan} \times \text{perlakuan}}} \\
 &= 2.677 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.158}{3 \times 5}} \\
 &= 2.677 \times \sqrt{0.021} \\
 &= 2.677 \times 0.145 \\
 &= 0.388
 \end{aligned}$$

**Tabel Hasil Uji BNT Perbedaan Penutupan Tanaman Terhadap Penurunan Kadar Nitrat Pada Limbah Cair Tempe**

Rerata	A3 = 16.38	A2 = 17.438	A1 = 19.07	A4 = 20.401	A5 = 22.71	Notasi
A3= 16.38	-	1.058*	2.69**	2.69**	4.021**	a
A2= 17.438	-	-	1.632**	1.632**	2.963**	b
A1=19.07	-	-	-	1.331**	3.64**	c
A4= 20.401	-	-	-	-	2.309**	d
A5= 22.71	-	-	-	-	-	e

Keterangan: \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

**Tabel Hasil Uji BNT Lama Tanam/Waktu Terhadap Penurunan Kadar Nitrat Pada Limbah Cair Tempe**

Rerata	B4= 10.44	B3= 15.03	B2=19.02	B1= 23.57	B0= 27.94	Notasi
B4= 10.44	-	4.59**	8.58**	13.13**	17.5**	a
B3= 15.03	-	-	3.99**	8.54**	12.91**	b
B2=19.02	-	-	-	4.55**	8.92**	c
B1= 23.57	-	-	-	-	4.37**	d
B0= 27.94	-	-	-	-	-	e

Keterangan: \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

**Lanjutan Lampiran 5.**

**Data Laju Penurunan Kadar Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Lama Hari	Laju Penurunan Nitrat Pada Media Tanam (%)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
2	16.548	21.422	20.623	13.315	6.210
4	20.895	22.259	27.829	14.954	12.218
6	21.209	26.143	33.281	15.464	13.339
8	<b>23.282</b>	<b>39.495</b>	<b>52.115</b>	<b>32.009</b>	<b>17.433</b>

$$\text{Penurunan (\%)} = \frac{\text{kandungan awal sampel (mg/l)} - \text{kandungan akhir sampel (mg/l)}}{\text{kandungan awal sampel (mg/l)}} \times 100\%$$

**Penutupan 100%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{5.588 - 4.663}{5.588} \times 100\% = 16.548 \%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{4.663 - 3.689}{4.663} \times 100\% = 20.895 \%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{3.689 - 2.906}{3.689} \times 100\% = 21.209 \%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{2.906 - 2.229}{2.906} \times 100\% = 23.282 \%$$

**Penutupan 75%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{5.588 - 4.391}{5.588} \times 100\%$$

$$= 21.422 \%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{4.391 - 3.413}{4.391} \times 100\%$$

$$= 22.259 \%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{3.413 - 2.521}{3.413} \times 100\%$$

$$= 26.143 \%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{2.521 - 1.525}{2.521} \times 100\%$$

$$= 39.495 \%$$

**Penutupan 50%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{5.588 - 4.435}{5.588} \times 100\% = 20.623 \%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{4.435 - 3.201}{4.435} \times 100\% = 27.829 \%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{3.201 - 2.136}{3.201} \times 100\% = 33.281 \%$$

**Penutupan 25%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{5.588 - 4.844}{5.588} \times 100\%$$

$$= 13.315 \%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{4.844 - 4.119}{4.844} \times 100\%$$

$$= 14.954 \%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{4.119 - 3.482}{4.119} \times 100\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{2.136 - 1.023}{2.136} \times 100\% = 52.115\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{3.482 - 2.368}{3.482} \times 100\% = 15.464\%$$

$$= 32.009\%$$

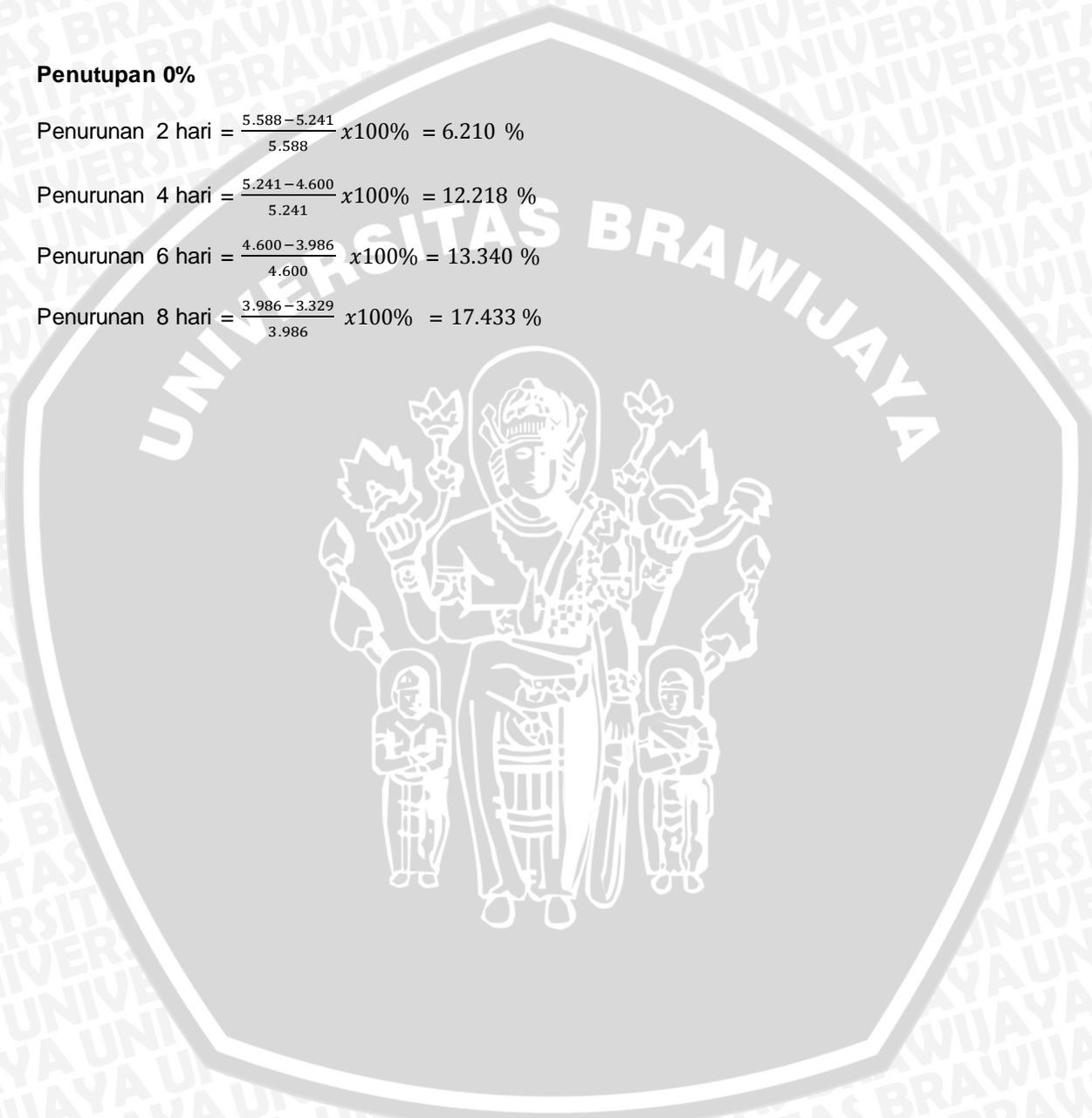
**Penutupan 0%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{5.588 - 5.241}{5.588} \times 100\% = 6.210\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{5.241 - 4.600}{5.241} \times 100\% = 12.218\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{4.600 - 3.986}{4.600} \times 100\% = 13.340\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{3.986 - 3.329}{3.986} \times 100\% = 17.433\%$$



**Lampiran 6. Data Hasil Pengamatan Penurunan Kandungan Ortofosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) Selama Penelitian**

Perlakuan		Penutupan 100% (A)					Penutupan 75% (B)				
Waktu		0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
r	1	1.748	1.578	1.231	1.067	0.861	1.748	1.561	1.301	1.023	0.819
	2	1.797	1.544	1.285	1.072	0.854	1.797	1.491	1.173	1.012	0.805
	3	1.765	1.587	1.423	1.112	0.911	1.765	1.525	1.283	1.018	0.778
Sub Total		5.31	4.709	3.939	3.261	2.626	5.31	4.577	3.757	3.053	2.402
Total		19.845					19.099				

Perlakuan		Penutupan 50% (C)					Penutupan 25% (D)				
Waktu		0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
r	1	1.748	1.521	1.276	0.956	0.712	1.748	1.572	1.319	1.105	0.826
	2	1.797	1.487	1.153	0.896	0.703	1.797	1.564	1.279	1.014	0.834
	3	1.765	1.512	1.194	0.992	0.701	1.765	1.562	1.278	1.044	0.867
Sub Total		5.31	4.52	3.623	2.844	2.116	5.31	4.678	3.876	3.163	2.527
Total		18.413					19.554				

Perlakuan		Penutupan 0% (K)				
Waktu		0	2	4	6	8
r	1	1.748	1.684	1.563	1.422	1.335
	2	1.797	1.640	1.519	1.385	1.138
	3	1.765	1.679	1.525	1.364	1.258
Sub Total		5.31	5.003	4.607	4.171	3.731
Total		22.822				

**Keterangan : r : Ulangan**

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{y^2}{abn} = \frac{(1.748 + 1.797 + \dots + 1.258)^2}{5 \times 5 \times 3} = \frac{(99.733)^2}{75} = 132.622$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{(Y)^2}{abn} \\ &= (1.748^2 + 1.797^2 + \dots + 1.258^2) - 132.622 \\ &= 141.203 - 132.622 \\ &= 8.5804 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^r \frac{Y_i^2}{bn} - \frac{(Y)^2}{abn} \\ &= \frac{(19.845^2 + 19.099^2 + \dots + 22.822^2)}{3 \times 5} - \frac{(99.733)^2}{5 \times 3 \times 5} \\ &= 133.389 - 132.622 \\ &= 0.767 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 4.709^2 + \dots + 3.731^2)}{3} - \frac{(19.845^2 + 19.099^2 + \dots + 22.822^2)}{15} \\
 &= \frac{423.347}{3} - \frac{2000.837}{15} \\
 &= 141.116 - 133.389 \\
 &= 7.726
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Penutupan 100\%)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 4.709^2 + \dots + 2.626^2)}{3} - \frac{(1.578 + 1.544 + \dots + 0.911)^2}{15} \\
 &= \frac{83.416}{3} - \frac{393.834}{15} \\
 &= 27.805 - 26.255 \\
 &= 1.5505
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Penutupan 75\%)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 4.577^2 + \dots + 2.402^2)}{3} - \frac{(1.748 + 1.797 + \dots + 0.778)^2}{15} \\
 &= \frac{78.350}{3} - \frac{364.772}{15} \\
 &= 26.117 - 24.318 \\
 &= 1.799
 \end{aligned}$$

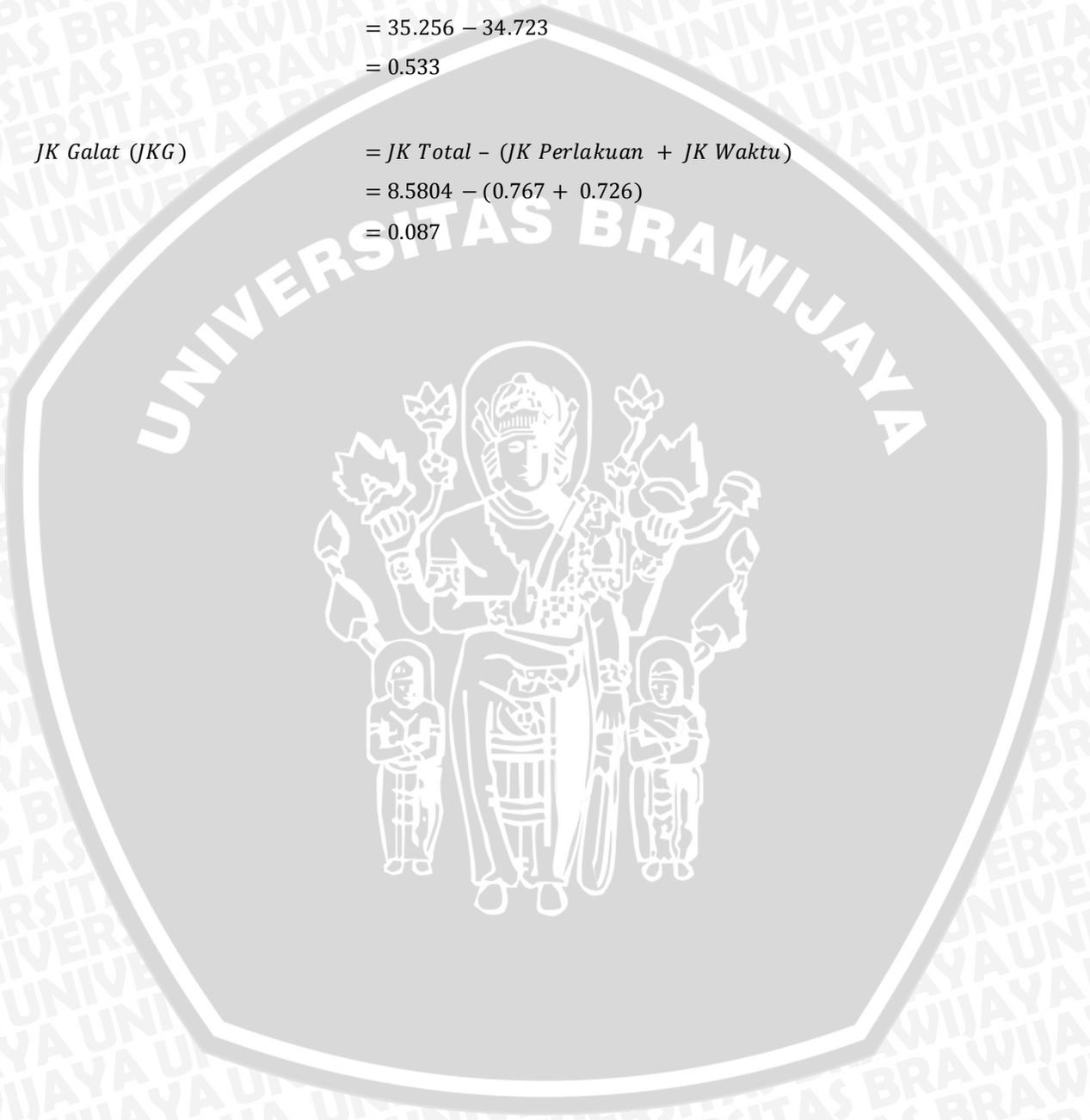
$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Penutupan 50\%)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 4.520^2 + \dots + 2.116^2)}{3} - \frac{(1.748 + 1.797 + \dots + 0.705)^2}{15} \\
 &= \frac{74.318}{3} - \frac{339.039}{15} \\
 &= 24.773 - 22.603 \\
 &= 2.170
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Penutupan 25\%)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 4.678^2 + \dots + 2.527^2)}{3} - \frac{(1.748 + 1.797 + \dots + 0.867)^2}{15} \\
 &= \frac{81.493}{3} - \frac{382.359}{15} \\
 &= 27.164 - 25.491 \\
 &= 1.674
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 JK \text{ Waktu (Penutupan 0\%)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\
 &= \frac{(5.310^2 + 5.003^2 + \dots + 3.731^2)}{3} - \frac{(1.748 + 1.797 + \dots + 1.258)^2}{15} \\
 &= \frac{105.768}{3} - \frac{520.844}{15} \\
 &= 35.256 - 34.723 \\
 &= 0.533
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ Galat (JKG)} &= JK \text{ Total} - (JK \text{ Perlakuan} + JK \text{ Waktu}) \\
 &= 8.5804 - (0.767 + 0.726) \\
 &= 0.087
 \end{aligned}$$



## Lanjutan Lampiran 6.

Tabel Sidik Ragam (ANOVA) Kadar Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian

Sumber Keragaman	DB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5 %	1%
Perlakuan (Penutupan Tanaman)	4	0.7668	0.192	110.194**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan Tanaman	20	7.726	0.386	222.056**	1.78	2.27
Waktu dalam Penutupan 100%	4	1.551	0.387	222.8113**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 75%	4	1.799	0.449	258.469**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 50%	4	2.170	0.543	311.856**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 25%	4	1.674	0.418	240.533**	2.56	3.72
Waktu dalam Penutupan 0%	4	0.533	0.133	76.611**	2.56	3.72
Galat	50	0.087	0.002			
Total	74	8.580				

Keterangan : \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

### Perhitungan BNT (Beda Nyata Terkecil)

#### a. BNT Perlakuan Penutupan Tanaman

$$\begin{aligned} \text{BNT 5\%} &= t(0,05) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan}}} \\ &= 2,008 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,0017}{3}} \\ &= 2,008 \times \sqrt{0,00116} \\ &= 2,008 \times 0,034 \\ &= 0,068 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BNT 1\%} &= t(0,01) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan}}} \\ &= 2,677 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,0017}{3}} \\ &= 2,677 \times \sqrt{0,00116} \\ &= 2,677 \times 0,034 \\ &= 0,091 \end{aligned}$$

#### b. BNT Waktu dalam Penutupan Tanaman

$$\begin{aligned} \text{BNT 5\%} &= t(0,05) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan} \times \text{perlakuan}}} \\ &= 2,008 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,0017}{3 \times 5}} \\ &= 2,008 \times \sqrt{0,00023} \\ &= 2,008 \times 0,0152 \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BNT 1\%} &= t(0,01) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KT Galat}}{\text{ulangan} \times \text{perlakuan}}} \\ &= 2,677 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,0017}{3 \times 5}} \\ &= 2,677 \times \sqrt{0,00023} \\ &= 2,667 \times 0,0152 \\ &= 0,041 \end{aligned}$$

Tabel Hasil Uji BNT Perbedaan Penutupan Tanaman Terhadap Penurunan Kadar Ortofosfat Pada Limbah Cair Tempe

Rerata	A3=6,137	A2=6,366	A1=6,518	A4=6,615	A5=7,607	Notasi
A3= 6,137	-	0,299**	0,381**	0,478**	1,47**	a
A2=6,366	-	-	0,152**	0,249**	1,241**	b
A1=6,518	-	-	-	0,097**	1,089**	c
A4=6,615	-	-	-	-	0,992**	d
A5=7,607	-	-	-	-	-	e

Keterangan: \* : berbeda nyata  
\*\* : berbeda sangat nyata

## Lanjutan Lampiran 6.

**Tabel Hasil Uji BNT Lama Tanam/Waktu Terhadap Penurunan Kadar Ortofosfat Pada Limbah Cair Tempe**

Rerata	B4=4,467	B3=5,497	B2=6,60	B1=7,829	B0=8,850	Notasi
B4=4,467	-	1,030**	2,133**	3,362**	4,383**	a
B3=5,497	-	-	1,103**	2,332**	3,353**	b
B2=6,60	-	-	-	1,229**	2,25**	c
B1=7,829	-	-	-	-	1,021**	d
B0=8,850	-	-	-	-	-	e

**Keterangan:** \* : berbeda nyata  
 \*\* : berbeda sangat nyata

**Data Laju Penurunan Kadar Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam Selama Penelitian**

Lama Hari	Laju Penurunan Ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada Media Tanam (%)				
	Penutupan 100% (A)	Penutupan 75% (B)	Penutupan 50% (C)	Penutupan 25% (D)	Penutupan 0% (K)
2	11,318	13,804	14,878	11,902	5,781
4	16,352	17,916	19,845	17,144	7,915
6	17,212	18,738	21,502	18,395	9,464
8	19,473	21,323	25,598	20,107	10,549

$$\text{Penurunan (\%)} = \frac{\text{kandungan awal sampel (mg/L)} - \text{kandungan akhir sampel (mg/L)}}{\text{kandungan awal sampel (mg/L)}} \times 100\%$$

### Penutupan 100%

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{1,770 - 1,569}{1,770} \times 100\% = 11,318\%$$

### Penutupan 75%

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{1,77 - 1,588}{1,77} \times 100\%$$

$$= 10,282\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{1,569 - 1,376}{1,569} \times 100\% = 12,317\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{1,588 - 1,396}{1,588} \times 100\%$$

$$= 12,091\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{1,376 - 1,192}{1,376} \times 100\% = 13,393\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{1,396 - 1,189}{1,396} \times 100\%$$

$$= 14,828\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{1,192 - 1,007}{1,192} \times 100\% = 15,520\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{1,189 - 0,997}{1,189} \times 100\%$$

$$= 16,148\%$$

**Penutupan 50%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{1,77-1,581}{1,77} \times 100\% = 10,659\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{1,581-1,374}{1,581} \times 100\% = 13,132\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{1,374-1,145}{1,374} \times 100\% = 16,646\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{1,145-0,937}{1,145} \times 100\% = 18,166\%$$

**Penutupan 25%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{1,77-1,592}{1,77} \times 100\% = 10,012\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{1,592-1,411}{1,592} \times 100\% = 11,406\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{1,411-1,221}{1,411} \times 100\% = 13,442\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{1,221-1,037}{1,221} \times 100\% = 15,065\%$$

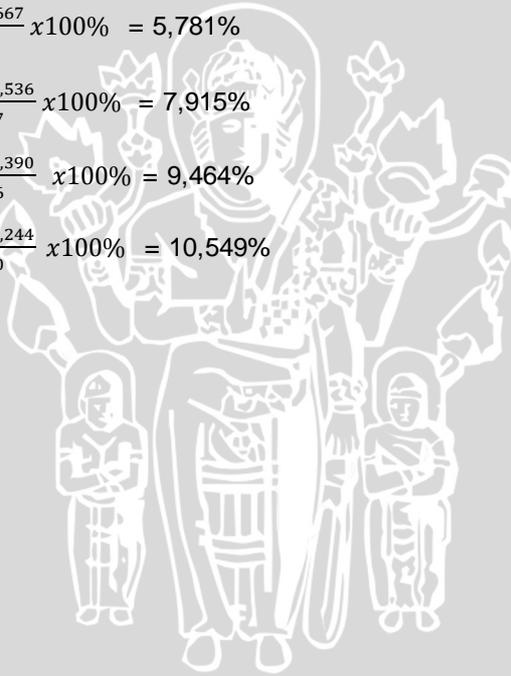
**Penutupan 0%**

$$\text{Penurunan 2 hari} = \frac{1,77-1,667}{1,77} \times 100\% = 5,781\%$$

$$\text{Penurunan 4 hari} = \frac{1,667-1,536}{1,667} \times 100\% = 7,915\%$$

$$\text{Penurunan 6 hari} = \frac{1,536-1,390}{1,536} \times 100\% = 9,464\%$$

$$\text{Penurunan 8 hari} = \frac{1,390-1,244}{1,390} \times 100\% = 10,549\%$$



Lampiran 7. Data Hasil Perhitungan *Relative Growth Rate (RGR)* dan *Doubling Time (DT)* Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

PERLAKUAN	BERAT AWAL/ $X_0$			RERATA	BERAT AKHIR/ $X_t$			RERATA
	I	II	III		I	II	III	
Penutupan 100% (A)	693,40	689,46	690,40	<b>691,09</b>	705,40	701,46	702,40	<b>703,09</b>
Penutupan 75% (B)	448,50	450,49	445,90	<b>448,30</b>	458,70	459,49	455,90	<b>458,03</b>
Penutupan 50% (C)	326,46	330,79	332,76	<b>330,00</b>	334,87	339,19	341,16	<b>338,41</b>
Penutupan 25% (D)	248,78	256,84	249,49	<b>251,70</b>	256,58	264,64	257,29	<b>259,50</b>

$$RGR = \frac{\ln X_t - \ln X_0}{t}$$

$$DT = \frac{\ln 2}{RGR}$$

$$RGR A1 = \frac{\ln 705,40 - \ln 693,40}{8} = \frac{6,559 - 6,542}{8} = 0,210$$

$$DT A1 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,210} = 3,29$$

$$RGR A2 = \frac{\ln 701,46 - \ln 689,46}{8} = \frac{6,553 - 6,536}{8} = 0,212$$

$$DT A2 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,212} = 3,26$$

$$RGR A3 = \frac{\ln 702,40 - \ln 690,40}{8} = \frac{6,554 - 6,537}{8} = 0,212$$

$$DT A3 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,212} = 3,26$$

$$RGR B1 = \frac{\ln 458,70 - \ln 448,50}{8} = \frac{6,128 - 6,106}{8} = 0,275$$

$$DT B1 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,275} = 2,51$$

$$RGR B2 = \frac{\ln 459,49 - \ln 450,49}{8} = \frac{6,130 - 6,110}{8} = 0,250$$

$$DT B2 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,250} = 2,76$$

$$RGR B3 = \frac{\ln 455,90 - \ln 445,90}{8} = \frac{6,122 - 6,100}{8} = 0,275$$

$$DT B3 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,275} = 2,51$$

$$RGR C1 = \frac{\ln 334,87 - \ln 326,46}{8} = \frac{5,814 - 5,788}{8} = 0,320$$

$$DT C1 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,32} = 2,20$$

$$RGR C2 = \frac{\ln 337,85 - \ln 330,79}{8} = \frac{5,823 - 5,801}{8} = 0,275$$

$$DT C2 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,275} = 2,51$$

$$RGR C3 = \frac{\ln 341,16 - \ln 332,76}{8} = \frac{5,832 - 5,807}{8} = 0,312$$

$$DT C3 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,312} = 2,21$$

$$RGR D1 = \frac{\ln 256,58 - \ln 248,78}{8} = \frac{5,547 - 5,517}{8} = 0,375$$

$$DT D1 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,375} = 1,84$$

$$RGR D2 = \frac{\ln 264,64 - \ln 256,84}{8} = \frac{5,578 - 5,548}{8} = 0,375$$

$$DT D2 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,167} = 1,84$$

$$RGR D3 = \frac{\ln 257,29 - \ln 249,49}{8} = \frac{5,550 - 5,519}{8} = 0,387$$

$$DT D3 = \frac{\ln 2}{RGR} = \frac{0,69}{0,387} = 1,78$$

Lampiran 8. Dokumentasi Selama Proses Penelitian

		
<p><b>PERSIAPAN/SETTING AQUARIUM</b></p>	<p><b>PENGAMBILAN KAYU APU</b></p>	<p><b>PROSES PENYARINGAN LIMBAH CAIR</b></p>
		
<p><b>PROSES PENGECERAN LIMBAH DENGAN AIR</b></p>	<p><b>PROSES MEMASUKKAN LIMBAH YANG TELAH DIENCERKAN</b></p>	<p><b>AKLIMATISASI TANAMAN KAYU APU</b></p>
		
<p><b>PROSES PENYORTIRAN TANAMAN KAYU APU</b></p>	<p><b>PENIMBANGAN BIOMASSA TANAMAN KAYU APU</b></p>	<p><b>PROSES MEMASUKKAN TANAMAN KAYU APU KE AQUARIUM</b></p>

Lanjutan Lampiran 8.



**KONDISI PENELITIAN  
PENDAHULUAN**



**PENGUKURAN  
OKSIGEN TERLARUT**



**PENGUKURAN SUHU  
DAN pH**



**PENGUKURAN AIR  
LIMBAH YANG AKAN  
DIGUNAKAN**



**PEMBUATAN KERAK  
NITRAT**



**AIR SAMPEL YANG  
SIAP DIUJI KADAR  
NITRAT**



**AIR SAMPEL YANG  
SIAP DIUJI KADAR  
NITRAT**



**KONDISI TANAMAN  
KAYU APU PADA  
AWAL PENELITIAN**



**KONDISI TANAMAN  
KAYU APU PADA  
AKHIR PENELITIAN**

Lanjutan Lampiran 8.

		
<p><b>PENGUKURAN KADAR NITRAT DAN ORTOFOSPAT DENGAN ALAT SPEKTROFOTOMETER</b></p>	<p><b>KONDISI AKAR PADA AWAL PENELITIAN</b></p>	<p><b>KONDISI AKAR PADA AWAL PENELITIAN</b></p>
		
<p><b>KONDISI KAYU APU PADA PP DENGAN KONSENTRASI LIMBAH 25% DAN 20%</b></p>	<p><b>KONDISI KAYU APU PADA PP DENGAN KONSENTRASI LIMBAH 15%</b></p>	<p><b>KONDISI KAYU APU PADA PP DENGAN KONSENTRASI LIMBAH 10%</b></p>
		
<p><b>KONDISI KAYU APU PADA PP DENGAN KONSENTRASI LIMBAH 5%</b></p>		