

**EFEKTIVITAS KERAPATAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.)
TERHADAP PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA
PEMBUANGAN LIMBAH PABRIK ASBES DI KOTA PROBOLINGGO
JAWA TIMUR**

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

**Oleh:
KARUNIA WAHYU UTAMI
NIM. 115080101111020**



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

**EFEKTIVITAS KERAPATAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.)
TERHADAP PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA
PEMBUANGAN LIMBAH PABRIK ASBES DI KOTA PROBOLINGGO
JAWA TIMUR**

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
Malang**

**Oleh :
KARUNIA WAHYU UTAMI
NIM. 115080101111020**



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

SKRIPSI
EFEKTIVITAS KERAPATAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.)
TERHADAP PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA
PEMBUANGAN LIMBAH PABRIK ASBES DI KOTA PROBOLINGGO
JAWA TIMUR

Oleh :
KARUNIA WAHYU UTAMI
NIM. 115080101111020

Telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 20 Mei 2015
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

SK Dekan No. : _____
Tanggal : _____

Dosen Penguji I

Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, PhD
NIP. 19610523 198703 2 003
Tanggal:

Dosen Penguji II

Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc
NIP. 19790331 200501 1 003
Tanggal:

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Muhammad Musa, MS
NIP. 19570507 198602 1 002
Tanggal:

Dosen Pembimbing II

Dr. Asus Maizar S. H., S.Pi, MP
NIP. 19720529 200312 1 001
Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS
NIP. 19620805 198603 2 001
Tanggal:

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Karunia Wahyu Utami

NIM : 115080101111020

Prodi : Manajemen Sumberdaya Perairan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya 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 skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 27 April 2015

Mahasiswa

Karunia Wahyu Utami

NIM. 115080101111020

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan laporan penelitian skripsi ini tidak lepas dari segala bentuk dukungan yang penulis peroleh dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta, mama Dra. Ec. Hj. Sri Wahyuningsih, MH dan papa Ir. H. Mochammad Ghozali, adekku Mochammad Khoirul Anam serta semua keluarga atas setiap dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
2. Dr. Ir. Muhammad Musa, MS dan Dr. Asus Maizar S. H., S.Pi, MP selaku dosen pembimbing atas bimbingan serta nasehat yang telah diberikan.
3. Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, PhD dan Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc selaku dosen penguji atas kritik dan saran yang telah diberikan.
4. H. Didik Sudiknyo, SH, M.Si selaku Kepala Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Probolinggo beserta jajarannya atas bantuan, dukungan dan fasilitas yang telah diberikan.
5. Ir. A. Yudha Sunantya, MM selaku Kepala Dinas Pertanian Kota Probolinggo beserta jajarannya atas bantuan, dukungan dan fasilitas yang telah diberikan.
6. Ir. H. Agus Agung Arief Rudyanto, MM selaku Direktur Pabrik Asbes Kota Probolinggo beserta jajarannya serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu atas bantuan, dukungan dan fasilitas yang telah diberikan.
7. Sahabat terbaikku, Dwi Retno, Tiyan Alfianto, Elvandari Saputri, Lutfi Ni'matus Salamah, Kurnia Salissatur Rosyidah, Fina Saindri, Nur Rohimah Febriati, Ayu Giri Widi Kurniawati, Desintya Andwi Paramitha, Intan Desy Pratama dan Laela Muflikhah yang senantiasa memberikan doa terbaik.

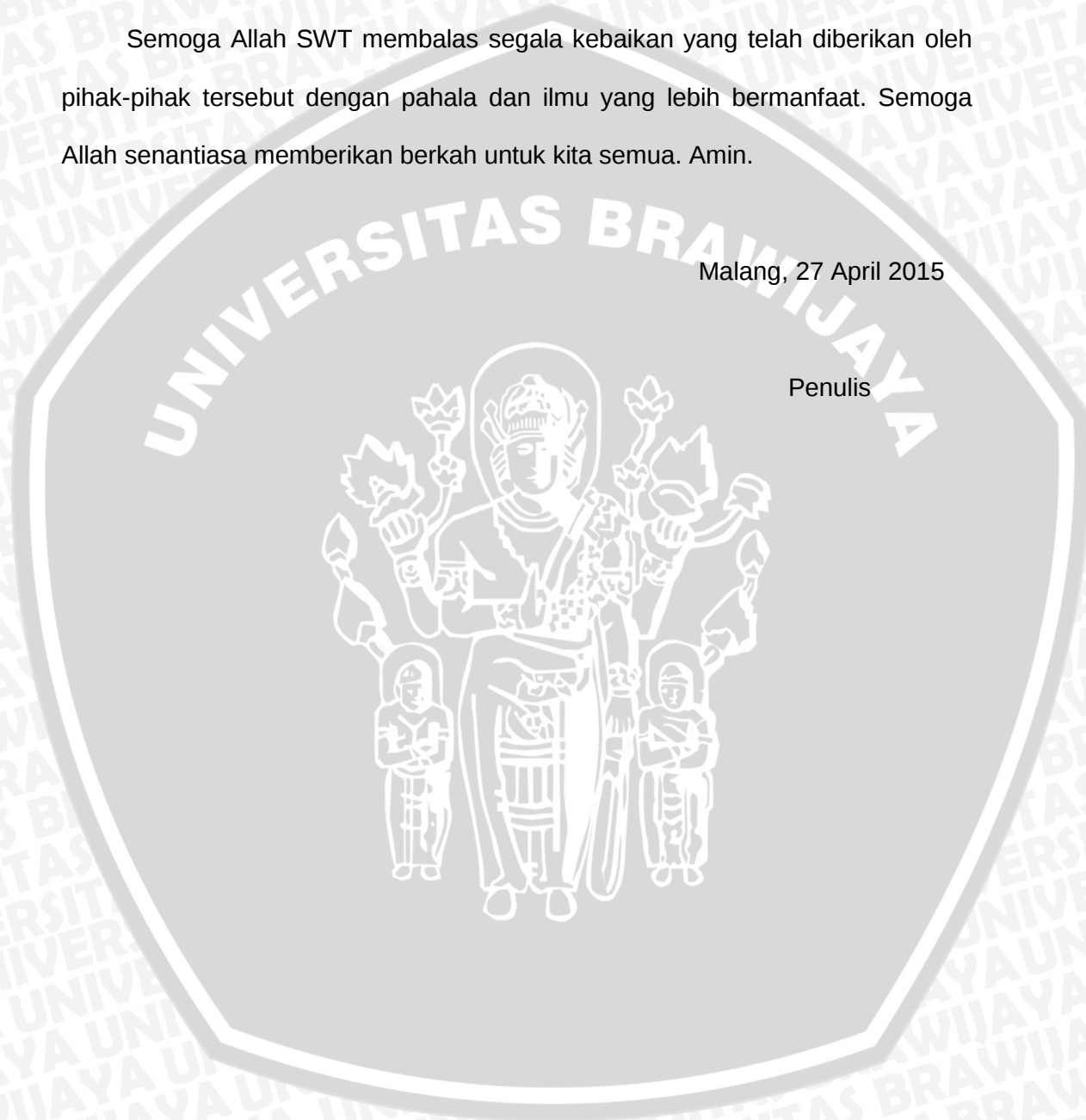
8. Teman-teman MSP 2011 yang telah bersedia berbagi ilmunya sehingga laporan ini dapat terselesaikan dalam waktu yang cepat dan tepat.

9. Teman-teman Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang yang senantiasa mendukung dalam penyelesaian laporan ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan oleh pihak-pihak tersebut dengan pahala dan ilmu yang lebih bermanfaat. Semoga Allah senantiasa memberikan berkah untuk kita semua. Amin.

Malang, 27 April 2015

Penulis



RINGKASAN

KARUNIA WAHYU UTAMI. Efektivitas Kerapatan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Pembuangan Limbah Pabrik Asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur (di bawah bimbingan **Dr. Ir. Muhammad Musa, MS** dan **Dr. Asus Maizar S. H., S.Pi, MP**).

Perkembangan industri akan memberikan dampak pada lingkungan akibat buangan industri yang semakin intensif salah satunya dari industri asbes. Hal ini menyebabkan limbah yang mengandung logam berat juga semakin meningkat. Berdasarkan uji pendahuluan penelitian didapatkan hasil bahwa limbah pabrik asbes mengandung logam Pb dan keberadaannya sudah melewati batas aman yaitu sebesar 0,37 mg/l sedangkan Pb yang diperbolehkan dalam perairan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, parameter Pb untuk golongan I sebesar 0,1 mg/l dan golongan II sebesar 1 mg/l. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang efektivitas kerapatan tanaman *Pistia stratiotes* L. terhadap penurunan Pb pada pembuangan limbah pabrik asbes. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan kerapatan *Pistia stratiotes* L. yang optimal dalam menurunkan kadar Pb pada limbah pabrik asbes dan mengetahui nilai *removal efficiency* (RE), faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF) dan nilai fitoremediasi (FTD) *Pistia stratiotes* L. terhadap penurunan kadar Pb pada air limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini membutuhkan 12 bak percobaan yang diisi dengan limbah yang mengandung Pb. Kombinasi perlakuan yang digunakan adalah kombinasi 6 x 4 antara perlakuan kerapatan (0, 20, 40, 60, 80, dan 100 persen) dan waktu pengamatan (0, 8, 16, dan 24 hari). Rancangan penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan 2 faktor yaitu faktor a (perlakuan kerapatan) dan faktor b (waktu pengamatan). Penelitian ini dilakukan setiap 8 hari sekali yaitu hari ke-0, ke-8, ke-16 dan hari ke-24. Sampel air, akar dan daun diambil untuk diukur kadar logam beratnya kemudian dianalisis menggunakan software SPSS 16.0. Selain itu diukur juga parameter kualitas air yang menjadi habitat kayu apu selama penelitian.

Hasil dari penelitian ini adalah kerapatan 40% dengan lama penyerapan 24 hari merupakan kerapatan paling optimal dalam menurunkan kadar Pb dalam air limbah yaitu sebesar 0,091 ppm dan telah sesuai dengan baku mutu air limbah. Rata-rata nilai RE pada kerapatan 20–100% berkisar antara 60,25–75,14%, nilai BCF akar pada hari ke-24 berkisar antara 0,982–1,814 (rentang 1–10 menunjukkan sifat hiperakumulator), nilai TF pada hari ke-24 berkisar antara 0,401–0,620 (TF<1 menunjukkan mekanisme fitostabilisasi). BCF>1 dan TF<1 menunjukkan tanaman mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi Pb namun rendah dalam mentranslokasikan. Nilai FTD hari ke-24, berkisar antara 0,483–1,414 (menunjukkan nilai maksimal, karena BCF>TF). Berdasarkan hasil penelitian disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui tanaman yang paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat dalam limbah pabrik asbes dengan waktu penyerapan yang cepat dikarenakan *Pistia stratiotes* L. hanya mampu bertahan sampai hari ke-8 sebagai fitoremediator pada limbah pabrik asbes dan sebaiknya pemberian *Pistia stratiotes* L. ini dilakukan setelah limbah asbes mengalami proses penetralan menggunakan bahan kimia sehingga limbah yang dibuang ke perairan merupakan limbah yang telah sesuai dengan baku mutu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah Nya-lah penulis dapat menyelesaikan Penelitian Skripsi yang berjudul “Efektivitas Kerapatan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Pembuangan Limbah Pabrik Asbes di Kota Probolinggo Jawa Timur”. Laporan Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih gelar Sarjana Perikanan (S.Pi) di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.

Dalam penyusunan Laporan Skripsi ini tentunya tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Skripsi ini berjalan dengan baik atas bantuan, dorongan dan bimbingan dari orang tua maupun dosen-dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Semoga Penelitian Skripsi ini dapat diterima dengan baik, khususnya bagi penulis sehingga tujuan yang diharapkan dapat tercapai, Amin.

Malang, 27 April 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Hipotesis.....	6
1.5 Kegunaan	6
1.6 Tempat dan Waktu.....	7
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Limbah Industri	8
2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan	8
2.3 Logam Berat	10
2.3.1 Logam Berat Timbal (Pb).....	11
2.3.2 Sifat-sifat Timbal (Pb).....	12
2.3.3 Sumber Timbal (Pb).....	12
2.3.4 Bentuk Persenyawaan Timbal (Pb) dan Kegunaannya	13
2.3.5 Dampak Kontaminasi Timbal (Pb).....	14
2.3.6 Proses Masuknya Logam Berat Pb pada Tanaman	15
2.4 Fitoremediasi	17
2.5 BCF dan TF	18
2.6 Kayu Apu	19
2.6.1 Klasifikasi Kayu Apu	19
2.6.2 Deskripsi Kayu Apu.....	20
2.6.3 Habitat Kayu Apu.....	20
2.6.4 Keunggulan Kayu Apu.....	21

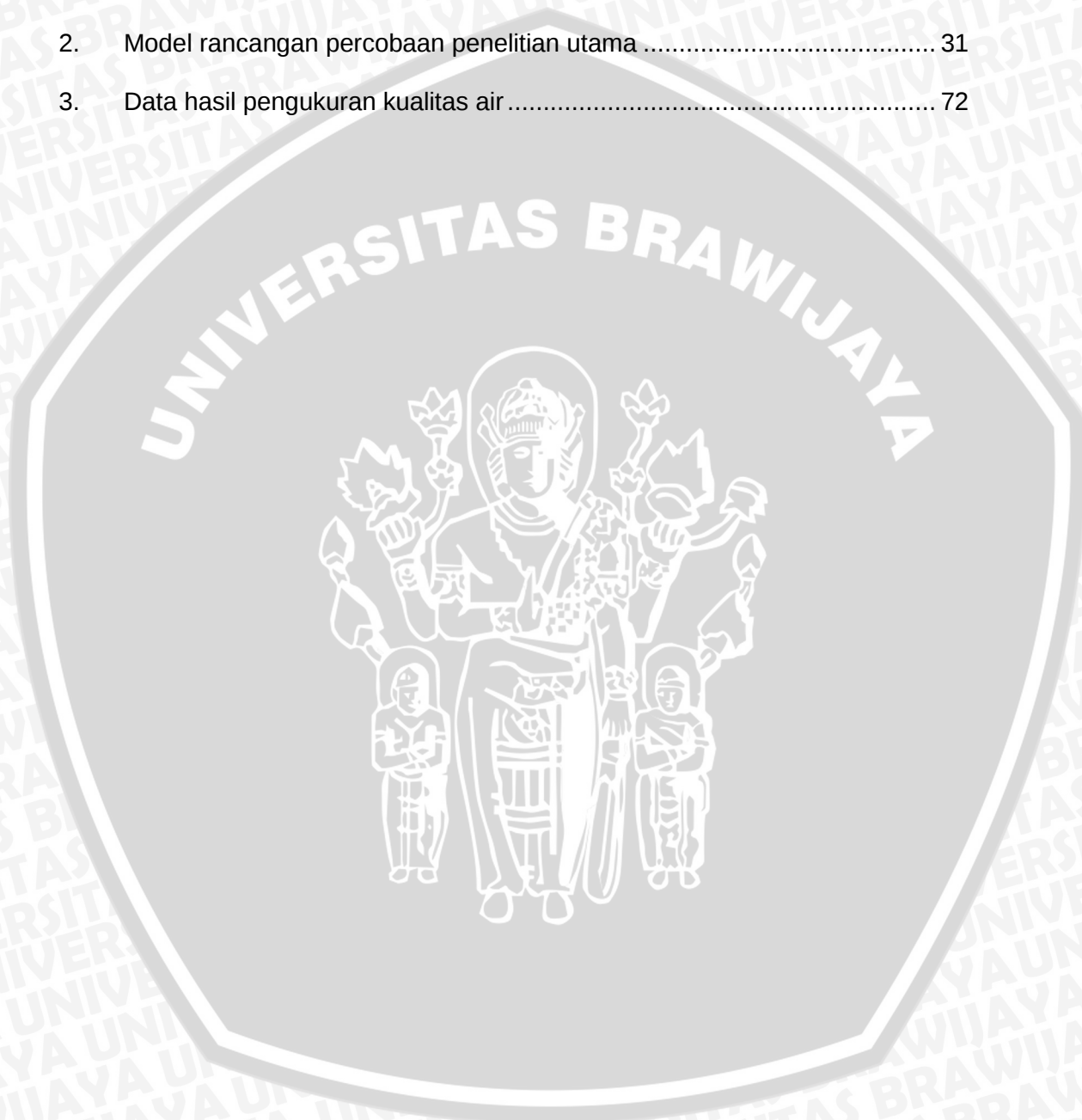
2.7	Parameter Kualitas Air Pendukung.....	22
2.7.1	Suhu.....	22
2.7.2	Derajat Keasaman (pH/ <i>Poisoning of Hydrogen</i>).....	22
2.7.3	Oksigen Terlarut (DO/ <i>Dissolved Oxygen</i>).....	23
3	MATERI DAN METODE.....	25
3.1	Materi Penelitian	25
3.2	Alat dan Bahan	25
3.3	Metode Penelitian	25
3.4	Prosedur Penelitian.....	26
3.4.1	Penyortiran Kayu Apu.....	26
3.4.2	Aklimatisasi Kayu Apu	26
3.4.3	Memasukkan Kayu Apu ke Dalam Bak Percobaan	26
3.4.4	Mengukur Parameter Utama dan Pendukung.....	27
3.5	Analisis Logam Berat Timbal (Pb).....	27
a.	Sampel Padat.....	27
b.	Sampel Cair	28
3.6	Prosedur Pengukuran Kualitas Air	29
3.6.1	Suhu.....	29
3.6.2	Derajat Keasaman (pH/ <i>Poisoning of Hydrogen</i>)	29
3.6.3	Oksigen Terlarut (DO/ <i>Dissolved Oxygen</i>)	29
3.7	Rancangan Penelitian	30
3.8	Analisis Data	32
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian	35
4.2	Karakteristik Limbah Pabrik Asbes.....	36
4.3	Deskripsi Tanaman Kayu Apu	37
4.4	Kondisi Morfologi Tanaman Kayu Apu Selama Penelitian	38
4.5	Kadar Timbal (Pb) pada Air Limbah	42
4.6	Kadar Timbal (Pb) pada Akar <i>Pistia stratiotes</i> L.	46
4.7	Kadar Timbal (Pb) pada Daun <i>Pistia stratiotes</i> L.	51
4.8	Kemampuan Penyerapan dan Akumulasi	55
4.8.1	<i>Removal efficiency</i> (RE)	55
4.8.2	Faktor Biokonsentrasi (BCF)	59
4.8.3	Faktor Translokasi (TF)	64
4.8.4	Perbandingan antrara nilai BCF dan TF.....	67
4.8.5	Fitoremediasi (FTD)	70
4.9	Analisis Parameter Kualitas Air	72
4.9.1	Suhu.....	73
4.9.2	Derajat Keasaman (pH/ <i>Poisoning of Hydrogen</i>)	74
4.9.3	Oksigen Terlarut (DO/ <i>Dissolved Oxygen</i>)	76
5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran	78
	DAFTAR PUSTAKA.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan alir perumusan masalah	5
2. <i>Pistia stratiotes</i> L.	19
3. Denah penelitian.....	32
4. Lokasi penelitian.....	35
5. Limbah pabrik asbes berwarna coklat keruh.....	36
6. Kayu apu didapatkan dari persawahan Kelurahan Kedopok	37
7. Kondisi kayu apu pada hari ke-0.....	39
8. Kondisi kayu apu pada hari ke-8.....	40
9. Kondisi kayu apu pada hari ke-16.....	41
10. Kondisi kayu apu pada hari ke-24.....	42
11. Histogram rerata kadar Pb dalam air limbah pabrik asbes	43
12. Histogram rerata kadar Pb dalam akar <i>Pistia stratiotes</i> L.....	48
13. Histogram rerata kadar Pb dalam daun <i>Pistia stratiotes</i> L.....	52
14. Histogram rerata <i>removal efficiency</i> logam Pb pada kerapatan yang berbeda.....	56
15. Histogram rerata faktor biokonsentrasi (BCF) Pb dari air ke akar <i>Pistia stratiotes</i> L.	60
16. Histogram rerata faktor biokonsentrasi (BCF) Pb dari air ke daun <i>Pistia stratiotes</i> L.	63
17. Histogram rerata faktor translokasi (TF) Pb dari akar ke daun <i>Pistia stratiotes</i> L.	65
18. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-0	68
19. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-8	68
20. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-16	68
21. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-24	68
22. Histogram rerata fitoremediasi oleh tanaman <i>Pistia stratiotes</i> L.....	70

DAFTAR TABEL

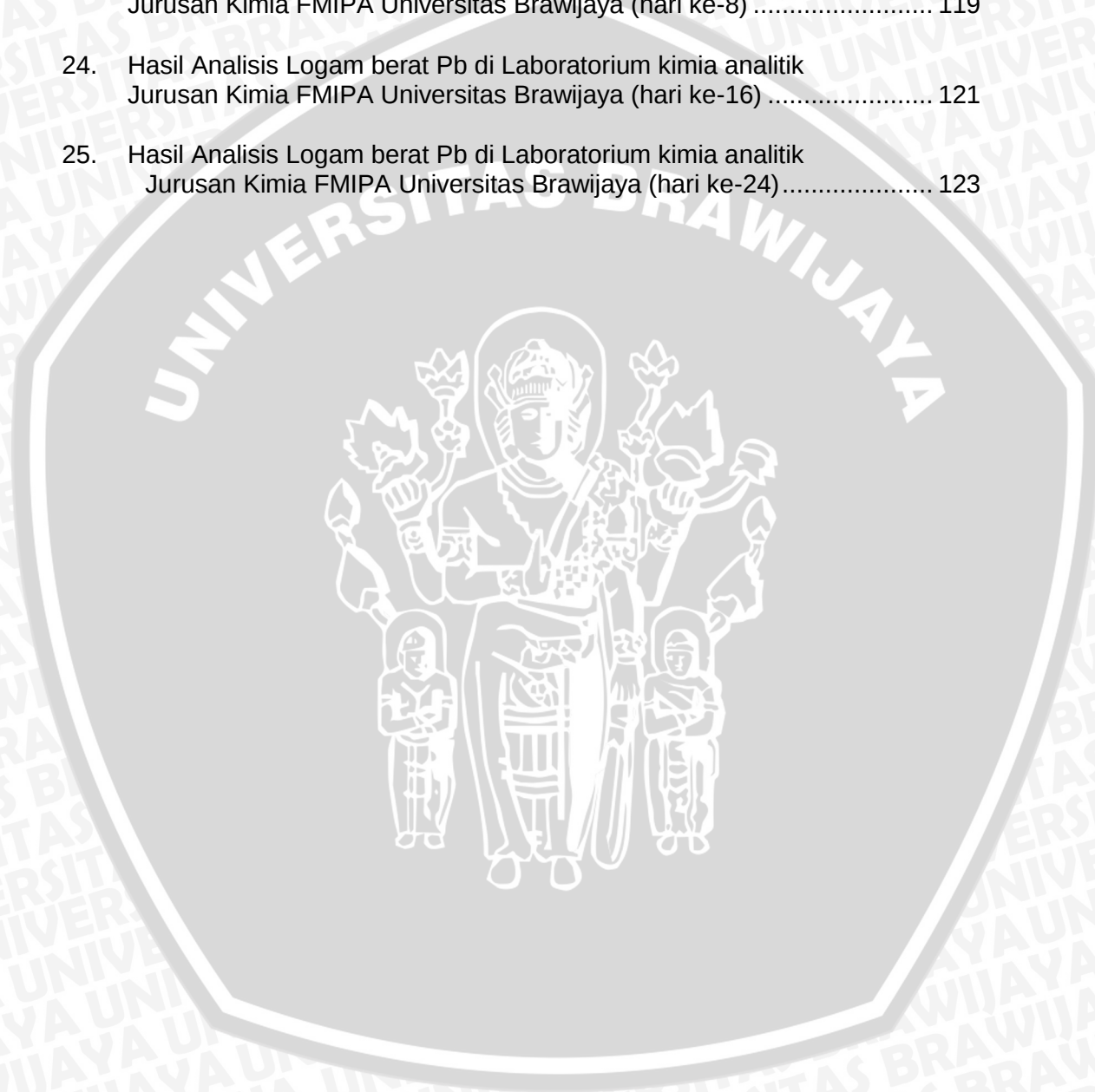
Tabel	Halaman
1. Persenyawaan Pb dan kegunaannya	14
2. Model rancangan percobaan penelitian utama	31
3. Data hasil pengukuran kualitas air	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan bahan pengukuran kualitas air	87
2. Lokasi penelitian	88
3. Kondisi pabrik asbes	89
4. Lokasi pengambilan sampel kayu apu (<i>Pistia Stratiotes</i> L.)	90
5. Proses aklimatisasi kayu apu (<i>Pistia Stratiotes</i> L.)	91
6. Menentukan kerapatan kayu apu (<i>Pistia Stratiotes</i> L.)	92
7. Perubahan morfologi kayu apu (<i>Pistia Stratiotes</i> L.) selama penelitian (24 hari)	93
8. Pengambilan sampel air, akar dan daun untuk dianalisis serta pengukuran kualitas air	94
9. Alat dan bahan penelitian	95
10. Kadar Pb dalam air, akar dan daun pada kerapatan yang berbeda dengan dengan waktu pengamatan 24 hari	96
11. Kadar Pb dalam air limbah selama 24 hari	97
12. Kadar Pb dalam akar <i>Pistia stratiotes</i> L. selama 24 hari	98
13. Kadar Pb dalam daun <i>Pistia stratiotes</i> L. selama 24 hari	99
14. <i>Removal Efficiency</i> (RE) logam Pb oleh <i>Pistia stratiotes</i> L.....	100
15. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF).....	101
16. Nilai Faktor Translokasi (TF) Pb dari akar ke daun kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.) selama penelitian (24 hari).....	103
17. Fitoremediasi (FTD) pada akar dan daun <i>Pistia stratiotes</i> L. selama penelitian (24 hari)	104
18. Hasil pengukuran kualitas air.....	105
19. <i>Output</i> perbandingan konsentrasi Pb dalam air limbah pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan	108
20. <i>Output</i> perbandingan konsentrasi Pb dalam akar kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.) pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan	112

21. Output perbandingan konsentrasi Pb dalam daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan 115
22. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-0) 118
23. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-8) 119
24. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-16) 121
25. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-24) 123



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dewasa ini telah memberikan sumbangan yang besar terhadap perekonomian Indonesia. Di lain pihak, hal tersebut juga memberi dampak pada lingkungan akibat buangan industri yang semakin intensif dalam pengembangan industri sehingga menyebabkan semakin besarnya volume limbah yang dihasilkan dari waktu ke waktu. Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor 03 Tahun 1985 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pemakaian Asbes, pesatnya pertumbuhan dan perkembangan penduduk, perkotaan dan industri salah satunya industri asbes menunjukkan pemakaian asbes yang semakin meningkat dalam pembangunan dewasa ini, dan asbes merupakan bahan pembuatan alat dan bahan pembangunan yang belum dapat diganti dengan bahan lain sehingga sampai sekarang pemakaian asbes dalam pembangunan tetap dipertahankan.

Pemakaian asbes yang semakin meluas dapat menyebabkan limbah yang mengandung logam berat juga semakin meningkat. Keberadaan logam berat tersebut dapat berasal dari berbagai sumber diantaranya dari kegiatan pertambangan, rumah tangga, limbah pertanian dan buangan industri. Dari keempat jenis limbah tersebut, limbah industri merupakan limbah yang umumnya paling banyak mengandung logam berat. Hal ini disebabkan senyawa logam berat sering digunakan dalam industri, baik sebagai bahan baku, bahan tambahan maupun katalis (Rochyaton, *et al.*, 2006).

Pencemaran logam berat di lingkungan dapat menimbulkan dampak negatif yang cukup berbahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, tanaman maupun lingkungan. Di muka bumi ini, diketahui terdapat 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia. Salah satu logam berat yang tersebar luas dan menjadi

pendonor dalam penurunan kualitas hidup manusia yaitu timbal atau (Pb/plumbum) (Widowati, *et al.*, 2008).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya, banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan (Yulaipi dan Aunurohim, 2013). Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas dan kadar oksigen. Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksigen terlarut (Effendi, 2003). Timbal biasanya ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Logam ini 95% bersifat anorganik dan umumnya dalam bentuk garam anorganik yang bersifat kurang larut dalam air (Riwayati, *et al.*, 2014).

Berdasarkan uji pendahuluan penelitian didapatkan hasil bahwa limbah pada pembuangan pabrik asbes yang terletak di Kota Probolinggo, Jawa Timur telah tercemar oleh logam berat diantaranya adalah Cu dan Pb. Diantara kedua logam berat yang terkandung, yang paling berbahaya dan keberadaannya sudah melewati konsentrasi aman yaitu logam berat Pb sebesar 0,37 mg/l sedangkan batas aman logam berat Pb yang diperbolehkan dalam suatu perairan menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air adalah 0,03 mg/l. Namun berbeda dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yang menyatakan bahwa parameter timbal (Pb) untuk golongan I sebesar 0,1 mg/l sedangkan untuk golongan II sebesar 1 mg/l.

Timbal (Pb) yang ditemukan dalam limbah pabrik asbes dikarenakan di dalam proses produksi asbes menggunakan semen yang mengandung Pb. Dalam hal ini, Pb merupakan suatu unsur yang digunakan sebagai bahan perpipaan dan di dalam proses produksi semen, pembuatan semen melewati beberapa pipa yang

merupakan *alloy* dari logam berat Pb. Palar (2012) menyatakan bahwa penggunaan *alloy* (suatu persenyawaan) logam berat Pb ini dikarenakan sifat Pb yang tidak mudah mengalami korosi. Oleh sebab itu, semen telah terkontaminasi oleh pipa yang mengandung Pb yang selanjutnya digunakan sebagai bahan baku pembuatan asbes.

Pengolahan air limbah menjadi air bersih dapat dilakukan dengan tiga cara yakni pengolahan secara fisik, kimia, dan biologi. Pengolahan yang paling sederhana dan tidak membutuhkan biaya adalah pengolahan secara biologi, salah satunya dengan menggunakan tumbuhan (Tosepu, 2012). Salah satu langkah yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan tumbuhan air untuk menanggulangi jumlah pencemar dengan cara menyerap, mengumpulkan dan mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat dalam limbah tersebut yang kita kenal dengan *phytoremediasi* (Haridjaja, *et al.*, 2012). Metode fitoremediasi ini mengalami perkembangan yang pesat karena terbukti lebih murah dibanding dengan metode lainnya. Fitoremediator yang digunakan dapat berupa herba, semak ataupun pohon. Secara umum tumbuhan mampu menyerap logam berat dalam jumlah yang bervariasi dan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang tinggi (Juhaeti, *et al.*, 2005).

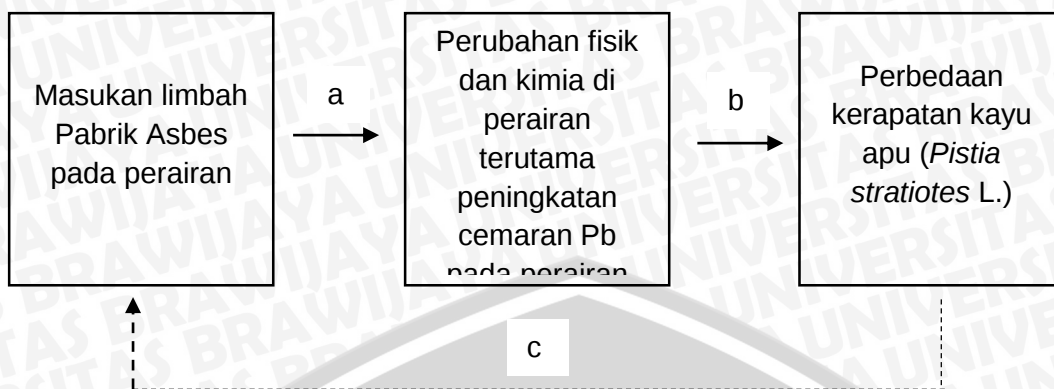
Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai tumbuhan air memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar organik tinggi. Kemampuan mencengkeram lumpur dengan berkas-berkas akarnya kadang dimanfaatkan sebagai pembersih air sungai yang sangat kotor. Dalam industri tanaman ini digunakan sebagai penyerap unsur-unsur toksis pada air limbah. Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) 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 (Fachrurrozi, *et al.*, 2010). Dari hasil penelitian oleh

Nurhayati, *et al.* (2012) diketahui bahwa tanaman air seperti kayu apu dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada limbah industri. Tanaman ini mempunyai daya serap yang efektif terhadap logam berat dan memiliki pengaruh yang besar terhadap lingkungan serta tidak membutuhkan biaya yang banyak.

Berdasarkan penjelasan diatas perlu adanya suatu upaya untuk meminimalisir limbah yang tercemar oleh logam berat baik secara fisik, kimawi ataupun biologis namun metode tersebut mahal, tidak efektif dan berdampak negatif bagi lingkungan. Pengolahan limbah cair dengan metode yang tepat tanpa efek samping diharapkan dapat meminimalkan kandungan zat-zat polutan terutama logam berat yang berpotensi merusak lingkungan. Sehingga perlu dilakukan tindakan pemulihan (remediasi) yang mudah, murah dan efisien agar limbah yang tercemar oleh logam berat dapat dibuang ke perairan sesuai dengan baku mutu air limbah yang diperbolehkan, yaitu dengan metode fitoremediasi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang efektivitas kerapatan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan logam berat timbal (Pb) pada pembuangan limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Semakin meningkatnya populasi dan berkembangnya industri menyebabkan limbah cair dari berbagai industri semakin banyak, salah satunya yaitu limbah pabrik asbes. Limbah pabrik ini diindikasikan mengandung logam berat timbal (Pb). Berdasarkan hasil uji pendahuluan penelitian didapatkan kandungan logam timbal (Pb) sebesar 0,37 mg/l pada pembuangan limbah pabrik asbes. Dari penelitian yang akan dilakukan dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan alir perumusan masalah

Keterangan Gambar 1:

- Masukan limbah Pabrik Asbes yang diindikasikan mengandung logam berat timbal (Pb) pada perairan dapat menyebabkan perairan menjadi tercemar. Hal ini dapat mengakibatkan perubahan fisik dan kimia di perairan terutama peningkatan cemaran timbal (Pb) pada perairan.
- Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan sebuah upaya untuk meminimalisir masuknya logam berat ke dalam lingkungan perairan dengan menggunakan tanaman air, salah satunya yaitu dengan menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.).
- Pengaruh perbedaan kerapatan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) ini dapat menjadi salah satu cara untuk mengetahui kemampuan fitoremediasi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam menurunkan kadar logam berat Pb pada pembuangan limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur.

Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh perbedaan kerapatan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang optimal pada akar dan daun dalam menurunkan kandungan logam berat timbal (Pb) pada air limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur?

2. Berapakah nilai *removal efficiency* (RE), faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF) dan nilai fitoremediasi (FTD) kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kadar logam berat timbal (Pb) pada air limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perbedaan kerapatan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang optimal pada akar dan daun dalam menurunkan kandungan logam berat timbal (Pb) pada air limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur.
2. Mengetahui nilai *removal efficiency* (RE), faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF) dan nilai fitoremediasi (FTD) kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kadar logam berat timbal (Pb) pada air limbah pabrik asbes di Kota Probolinggo, Jawa Timur.

1.4 Hipotesis

H_0 = Diduga bahwa tidak ada perbedaan pengaruh kerapatan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kadar logam berat timbal (Pb).

H_1 = Diduga bahwa ada perbedaan pengaruh kerapatan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kadar logam berat timbal (Pb).

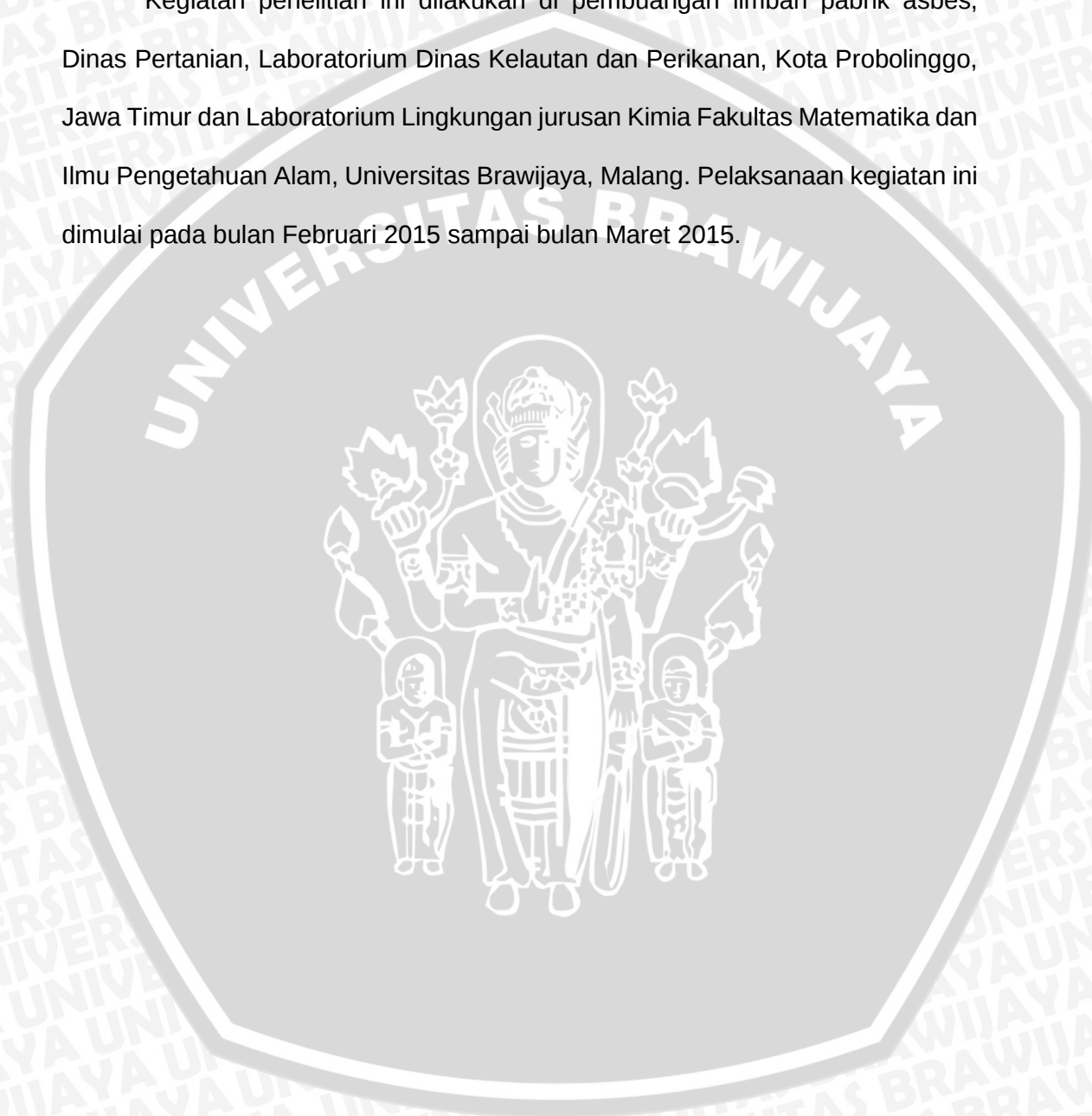
1.5 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan informasi kepada pembaca mengenai efektivitas penurunan logam berat timbal (Pb) oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sehingga nantinya didapatkan kerapatan optimal untuk menurunkan logam berat timbal (Pb) yang boleh dibuang ke perairan sesuai dengan baku mutu. Selain itu dapat dijadikan pembanding untuk penelitian

lebih lanjut dan dapat juga dijadikan sebagai pedoman pengolahan limbah atau alternatif pengolahan limbah Pb di perairan.

1.6 Tempat dan Waktu

Kegiatan penelitian ini dilakukan di pembuangan limbah pabrik asbes, Dinas Pertanian, Laboratorium Dinas Kelautan dan Perikanan, Kota Probolinggo, Jawa Timur dan Laboratorium Lingkungan jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang. Pelaksanaan kegiatan ini dimulai pada bulan Februari 2015 sampai bulan Maret 2015.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, yang dimaksud limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Sedangkan Limbah bahan berbahaya dan beracun, disingkat limbah B3, adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Secara umum yang disebut limbah adalah bahan sisa yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi, baik pada skala rumah tangga, industri, pertambangan, dan sebagainya. Bentuk limbah tersebut dapat berupa gas, debu, cair atau padat. Diantara berbagai jenis limbah ini ada yang bersifat beracun atau berbahaya dan dikenal sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) (Hertika, 2011).

Air limbah merupakan cairan atau limbah yang terbawa ke dalam air, baik berupa benda padat, cair dan gas dengan sifat yang dapat berupa endapan atau padat, padat tersuspensi, terlarut atau koloid, emulsi, yang berasal dari rumah tangga, komersial atau proses industri yang kadang terdapat bersama dengan air tanah, air permukaan, air hujan atau infiltrasi air tanah (Widyaningsih, 2011).

2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yang

dimaksud pencemaran air adalah memasuknya 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. Menurut Yuliastuti (2011), masukan tersebut sering disebut dengan istilah unsur pencemar (polutan), yang pada prakteknya masukan tersebut berupa buangan yang bersifat rutin, misalnya buangan limbah cair.

Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat. Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut (Ali dan Rina, 2011).

Menurut Junita (2013), pencemaran logam berat di Indonesia cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya proses industrialisasi. Pencemaran logam berat dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, dan tanaman, maupun lingkungan. Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Logam berat esensial adalah logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Akan tetapi, logam tersebut bisa menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang berlebihan. Contohnya yaitu Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain.
- b. Logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun. Contohnya yaitu Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain.

2.3 Logam Berat

Logam umumnya dibayangkan sebagai bahan yang 'keras', mempunyai densitas dan titik leleh tinggi, dapat ditempa, dan merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Bentuk kelimpahan logam yang terdapat di alam (kerak bumi) sangat bergantung terutama pada reaktivitas logam yang bersangkutan, kelarutan garamnya, dan kemudahan garamnya bereaksi dengan air atau terhadap proses oksidasi (Sugiyarto dan Suyanti, 2010).

Di dalam air biasanya logam berikatan dalam senyawa kimia atau dalam bentuk logam ion, bergantung pada kompartemen tempat logam tersebut berada. Tingkat kandungan logam pada setiap kompartemen sangat bervariasi, bergantung pada lokasi, jenis kompartemen dan tingkat pencemarannya. Telah banyak dilaporkan mengenai konsentrasi logam dalam air dan biota yang hidup di dalamnya. Biasanya tingkat konsentrasi logam berat dalam air dibedakan menurut tingkat pencemarannya, yaitu polusi berat, polusi sedang dan nonpolusi (Darmono, 2001)

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul yang tinggi, mempunyai daya hantar panas listrik yang tinggi dan memiliki densitas $>5 \text{ gr/cm}^3$ yang di dalam susunan berkala unsur-unsur (sistem periodik) memiliki nomor atom 22 hingga 93 pada periode 3 sampai dengan periode 7 disebut logam berat (Hutagalung dan Rozak, 1997).

Logam-logam berat yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu dan berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh satu jenis logam berat terhadap semua biota perairan tidak sama, namun kehancuran dari satu kelompok dapat menjadikan terputusnya rantai kehidupan. Pada tingkat lanjutnya keadaan tersebut tentu saja dapat menghancurkan satu tatanan ekosistem perairan (Palar, 2012).

2.3.1 Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum*, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada Tabel Periodik unsur kimia. Mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar, 2012).

Logam timbal Pb adalah jenis logam lunak berwarna coklat kehitaman dan mudah dimurnikan. Logam Pb lebih tersebar luas dibanding kebanyakan logam toksik lainnya dan secara alamiah terdapat pada batu-batuan serta lapisan kerak bumi. Penggunaan timbal dikenal luas pada industri cat, tinta, pestisida, fungisida dan juga sering digunakan pada industri plastik sebagai bahan *stabilizer* (Darmono, 1995).

Pb adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi, tersebar melalui proses alami dan berasal dari berbagai kegiatan manusia (Widowati, *et al.*, 2008). Pb tidak termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksik Pb terhadap tumbuhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan unsur renik lainnya (Effendi, 2003).

Timbal atau *plumbum* dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam merupakan logam yang lunak dan tahan terhadap korosi atau karat sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan *coating* atau bahan pelapis (Apriliani, 2010). Timbal mempunyai titik lebur yang rendah sehingga mudah digunakan dan murah biaya operasionalnya. Selain itu timbal mudah dibentuk karena lunak, bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus dari pada logam murninya. Kepadatan timbal melebihi logam lainnya (Hidayati, 2013).

2.3.2 Sifat-sifat Timbal (Pb)

Purnomo dan Muchyiddin (2007) menyatakan bahwa sifat-sifat dan kegunaan logam Pb adalah (1) mempunyai titik lebur yang rendah sehingga mudah digunakan dan biaya operasionalnya murah, (2) mudah dibentuk karena lunak, (3) mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan, dan (4) bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya.

Menurut Palar (2012), logam timbal (Pb) mempunyai sifat-sifat yang khusus seperti (1) merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan pisau atau tangan, (2) logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat, sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan *coating*, (3) titik leburnya rendah, hanya 327,5 °C, (4) mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam biasa, kecuali emas dan merkuri, dan (5) penghantar listrik yang tidak baik.

Menurut Fardiaz (1992), Pb banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena beberapa sifatnya seperti (1) titik cairnya rendah sehingga jika akan digunakan dalam bentuk cair maka hanya membutuhkan teknik yang sederhana dan murah, (2) sifat kimia menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak udara lembab, (3) Pb dapat membentuk ikatan (alloy) dengan logam lainnya dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda dengan Pb murni, dan (4) densitas lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya, kecuali bila dibanding dengan Pb murni.

2.3.3 Sumber Timbal (Pb)

Kadar Pb yang secara alami dapat ditemukan dalam bebatuan sekitar 13 mg/kg. Khusus Pb yang tercampur dengan batu fosfat dan terdapat didalam batu pasir (*sand stone*) kadarnya lebih besar yaitu 100 mg/kg. Pb yang terdapat di tanah berkadar sekitar 5 – 25 mg/kg dan di air bawah tanah (*ground water*) berkisar

antara 1 – 60 $\mu\text{g/liter}$. Secara alami Pb juga ditemukan di air permukaan. Kadar Pb pada air telaga dan air sungai adalah sebesar 1 – 10 $\mu\text{g/liter}$. Dalam air laut kadar Pb lebih rendah daripada air tawar (Sudarmaji, *et al.*, 2006).

Timbal (Pb) yang berasal dari polusi udara atau atmosfer umumnya berbentuk partikel debu yang bila sampai pada tanaman, akan tinggal di permukaan tanaman tersebut. Awan dan hujan dapat menyebabkan timbal menjadi bentuk terlarut dan dapat masuk ke dalam tanaman yang dapat menyebabkan kerusakan tanaman. Tanaman yang tertutupi debu polusi pada permukaan daunnya, menyebabkan fungsi fotosintesis dan transpirasi terhambat (Onggo, 2009).

Logam Pb yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin dari kendaraan bermotor yang terdiri dari tetraetil Pb dan tetrametil Pb. Partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb oksida, pembakaran arang dan sebagainya. Polusi Pb yang terbesar berasal dari pembakaran bensin, dimana dihasilkan berbagai komponen Pb, terutama PbBrCl dan $\text{PbBrCl}_2\text{PbO}$ (Fardiaz, 1992).

2.3.4 Bentuk Persenyawaan Timbal (Pb) dan Kegunaannya

Timbal dan persenyawaannya banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti pada industri baterai digunakan sebagai *grid* yang merupakan alloy (suatu persenyawaan) dengan logam bismut (Pb-Bi) dengan perbandingan 93:7. Persenyawaan Pb dengan Cr, Mo, dan Cl digunakan sebagai pigment *chrom*. Sedangkan senyawa PbCrO digunakan untuk mendapatkan warna kuning *chrom* dan Pb_3O_4 digunakan untuk mendapatkan warna timah merah (Palar, 2012)

Timbal terdapat dalam 2 bentuk yaitu bentuk inorganik dan organik. Dalam bentuk inorganik timbal dipakai dalam industri baterai (digunakan persenyawaan Pb-Bi), untuk kabel telepon digunakan persenyawaan timbal yang mengandung 1% stibium (Sb), untuk kabel listrik digunakan persenyawaan timbal dengan As, Sn dan Bi. Bentuk lain dari persenyawaan timbal juga banyak digunakan dalam konstruksi pabrik-pabrik kimia, kontainer dan alat-alat lainnya (Suciani, 2007).

Menurut Palar (2012), bentuk-bentuk dari persenyawaan yang dibentuk oleh Pb dengan unsur kimia lainnya, serta fungsi dari bentuk persenyawaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persenyawaan Pb dan kegunaannya

Bentuk Persenyawaan	Kegunaan
Pb + Sb	Kabel telepon
Pb + As + Sn + Bi	Kabel listrik
Pb + Ni	Senyawa azida untuk bahan peledak
Pb + Cr + Mo + Cl	Untuk pewarnaan pada cat
Pb – asetat	Pengkilap keramik dan bahan anti api
Pb + Te	Pembangkit listrik tenaga panas
Tetrametil – Pb & Tetraetil Pb	Aditive untuk bahan bakar kendaraan bermotor

2.3.5 Dampak Kontaminasi Timbal (Pb)

Timah hitam dan senyawanya masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan dan saluran pencernaan, sedangkan absorpsi melalui kulit sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Bahaya yang ditimbulkan oleh Pb tergantung oleh ukuran partikelnya. Partikel yang lebih kecil dari 10 μg dapat

tertahan di paru-paru, sedangkan partikel yang lebih besar mengendap di saluran nafas bagian atas (Ardyanto, 2005).

Efek Pb terhadap sistem syaraf telah diketahui, terutama dalam studi kesehatan kerja dimana pekerja yang terpapar kadar timbal yang tinggi dilaporkan menderita gejala kehilangan nafsu makan, depresi, kelelahan, sakit kepala, mudah lupa, dan pusing. Efek timbal terhadap kecerdasan anak memiliki efek menurunkan IQ bahkan pada tingkat paparan rendah. Studi lebih lanjut menunjukkan bahwa kenaikan kadar timbal dalam darah di atas 20 µg/dl dapat mengakibatkan penurunan IQ sebesar 2 – 5 poin (Gusnita, 2012).

Menurut Ali dan Rina (2011), logam berat yang masuk ke sistem perairan, baik di sungai maupun lautan akan melalui tiga proses yaitu pengendapan, adsorpsi, dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan. Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat.

2.3.6 Proses Masuknya Logam Berat Pb pada Tanaman

Menurut Moenir (2010), secara umum mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman berlangsung secara aktif (*active uptake*) dan penyerapan secara pasif (*passive uptake*).

a) Penyerapan logam berat secara aktif (*active uptake*) oleh tanaman

Meliputi tiga proses yaitu :

- penyerapan logam berat oleh akar
- translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain
- lokalisasi atau akumulasi logam berat pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar logam berat tidak menghambat metabolisme tanaman.

Proses ini tergantung pada energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap pH, suhu, kekuatan ikatan ionik dan cahaya (Suhendrayatna, 2001). Penyerapan logam berat oleh akar tanaman dapat terjadi apabila logam berat tersebut berada di sekitar akar (rizosfer) dan untuk membawa logam berat masuk kedalam rizosfer terdapat beberapa faktor tergantung pada jenis tanamannya.

- Faktor pH

Pada tanaman *Thlaspi caerulescens*, mobilisasi logam Zn dipacu oleh terjadinya penurunan pH pada daerah perakaran sebesar 0,2 – 0,4 unit (Mc. Grath, 1999).

- Pembentukan reduktase spesifik logam

Untuk meningkatkan penyerapan logam berat, tanaman membentuk suatu molekul reduktase di membran akarnya dan reduktase ini berfungsi untuk mereduksi logam berat dan selanjutnya diangkut melalui kanal khusus di dalam membran akar (Marschner and Romheld, 1994).

- Ekskresi zat khelat (zat pengikat)

Pada jenis rumput-rumputan dalam proses penyerapan logam berat dapat ditingkatkan dengan pembentukan zat khelat (pengikat) yang dinamakan *phytosiderator*. Molekul *phytosiderator* akan mengikat logam berat dan membawanya ke dalam sel akar melalui transport aktif. Beberapa logam berat yang dapat diikat oleh molekul *phytosiderator* seperti Cu, Zn dan Mn (Gwozdz, et al., 1997).

Translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain dilakukan setelah logam berat masuk ke dalam akar tanaman, selanjutnya didistribusikan ke bagian-bagian tanaman yang lain (batang dan daun) melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem). Kemampuan pengangkutan dalam tanaman dapat ditingkatkan dengan bantuan zat khelat. Beberapa zat khelat yang dapat mengikat logam berat adalah *phytochelatin* yang mengikat logam Se, *histidin* mengikat logam Ni dan *glutanion* mengikat Cd (Mc. Grath, 1999).

Lokalisasi atau akumulasi logam berat pada sel tanaman. Pada konsentrasi tertentu, logam berat dapat meracuni tanaman dan untuk mencegah hal tersebut, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, yaitu dengan cara melokalisasi atau mengakumulasi logam berat dalam jaringan tanaman tertentu dan berbeda antara satu tanaman dengan lainnya. Seperti untuk logam Cd di akar pada tanaman *Silene dioica*, (Grant, et al., 1998), logam Ni di lateks pada tanaman *Serbetia acuminata* (Collins, 1999).

b) Penyerapan logam berat secara pasif (*passive uptake*) atau biosorpsi

Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dan proses pengikatan ini dapat dilakukan dengan dua cara :

- pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalen seperti ion Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan dengan ion logam berat
- formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karboksil, thiol, fosfat, hidroksi yang berada di dinding sel.

Proses biosorpsi dapat berjalan lebih efektif pada pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya di media, dimana logam berat dapat diendapkan sebagai garam yang tidak terlarut (Onrizal, 2005).

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani Kuno yaitu nabati atau tanaman, dan bahasa Latin yaitu remedium (memulihkan keseimbangan atau perbaikan), menggambarkan pengobatan masalah lingkungan melalui penggunaan tanaman sehingga dapat mengurangi masalah lingkungan tanpa perlu menggali bahan kontaminan dan membuangnya di tempat lain. Teknik reklamasi dengan fitoremediasi mengalami perkembangan yang cukup pesat karena terbukti lebih murah dibandingkan metode lainnya. Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tetapi beberapa tumbuhan

mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi (Rondonuwu, 2014).

Fitoremediasi salah satu metode remediasi dengan mengandalkan peranan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar logam berat. Tanaman mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat yang bersifat esensial untuk pertumbuhan dan perkembangan. Keberhasilan fitoremediasi dengan menggunakan tanaman hiperakumulator sangat cocok digunakan dalam menurunkan kadar pencemar sampai memenuhi kriteria yang disyaratkan (Hardiani, 2009).

Teknik pengolahan limbah menggunakan tanaman dikenal dengan istilah fitoremediasi. Secara lengkap istilah fitoremediasi adalah penggunaan tanaman, termasuk pohon-pohonan, rumput-rumputan dan tanaman air, untuk menghilangkan atau memecahkan bahan-bahan berbahaya baik organik maupun anorganik dari lingkungan. Kemampuan tanaman air tersebut dalam mengabsorpsi logam berat dilakukan melalui akarnya. Dalam teknologi fitoremediasi teknik ekstraksi logam dari air melalui akarnya dikenal dengan istilah rizhofiltrasi. Tanaman air mempunyai potensi untuk menyerap logam berat dari air, sehingga kemungkinan dapat digunakan untuk pengolahan limbah yang mengandung logam berat yang sangat besar (Suryati dan Priyanto, 2003).

2.5 BCF dan TF

Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan daunnya sehingga bersifat hiperakumulator. Keberhasilan fitoremediasi dengan menggunakan tanaman hiperakumulator sangat cocok digunakan dalam menurunkan kadar pencemar sampai memenuhi kriteria yang disyaratkan (Hardiani, 2009).

Jenis mekanisme yang digunakan oleh tanaman dapat diketahui melalui nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF) yang berkaitan. Faktor Biokonsentrasi (BCF) merupakan rasio perbandingan antara konsentrasi logam dalam akar terhadap konsentrasinya dalam air, sedangkan faktor translokasi (TF) merupakan rasio konsentrasi logam dalam pucuk (daun) terhadap konsentrasi pada akar (Sopyan, *et al.*, 2014).

Pada dasarnya faktor BCF dan TF merupakan indikator yang dapat membedakan mekanisme akumulasi antara fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Jika nilai $BCF > 1$ dan $TF < 1$, disebut mekanisme fitostabilisasi dan sebaliknya, jika nilai $BCF < 1$ dan $TF > 1$ maka disebut fitoekstraksi (Liong, 2010).

2.6 Kayu Apu

2.6.1 Klasifikasi Kayu Apu

Menurut Zipcodezoo (2014), tanaman kayu apu dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Subkingdom : Viridaeplantae
 Phylum : Tracheophyta
 Subphylum : Euphyllophytina
 Class : Spermatopsida
 Subclass : Aridae
 Order : Alismatales
 Family : Araceae
 Genus : Pistia
 Species : *Pistia stratiotes* L.



Gambar 2. *Pistia stratiotes* L.

(Kamera HP Blackberry 9790
5 megapixel)

2.6.2 Deskripsi Kayu Apu

Menurut Don, *et al.* (2000), karena kemiripannya dengan *lettuce*, tanaman ini dijuluki *water lettuce* atau di Indonesia disebut apu-apu, berasal dari sebelah barat Afrika, dan banyak tumbuh di sungai Nil. Bentuknya unik, menyerupai kol yang mengapung di permukaan air. Termasuk jenis *floating plant* yang banyak ditanaman sebagai pajangan di tengah kolam atau sebagai *cover ground*. Daunnya hijau terang muncul bergelombang dari akarnya, mirip kelopak bunga mawar. Tanaman ini sebaiknya tidak berada di bawah sinar matahari langsung karena daunnya mudah terbakar.

Susunan daun membentuk roset (bertumpuk-tumpuk). Setiap roset daun dihubungkan oleh batang kecil menjalar (*stolon*) yang mudah dipotong. Ukuran rosetnya sekitar 10 – 15 cm. Bisa juga diletakkan dalam wadah yang lebar dan dikombinasikan dengan tanaman yang tumbuh meninggi, seperti *cattail* atau *umbrella plant*. Cara perbanyakan tanaman ini yaitu memotong batang kecilnya yang menjalar (*stolon*) yang sudah ditumbuhi roset baru, diapungkan di atas air dan tanaman baru pun akan tumbuh dengan sendirinya (Marianto, 2004).

Menurut Backer (1988), kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) memiliki tunas bakal pucuk yang berkembang membentuk koloni bergerombol sampai sepanjang 6 inchi secara mendatar, dengan akar-akar yang menggantung, berbulu dan panjang. Panjang akarnya bisa mencapai 40 cm, bahkan bisa lebih panjang. Tumbuhan kayu apu ini dapat dimanfaatkan sebagai tanaman ikan di kolam.

2.6.3 Habitat Kayu Apu

Kayu apu tumbuh dengan sangat baik pada perairan tawar yang tenang atau bergerak lambat seperti bendungan pertanian, waduk, danau, sungai dan anak sungai. Tanaman ini akan mentolerir suhu antara 15 °C dan 35 °C; namun suhu optimum untuk rentang pertumbuhan antara 22 °C dan 30 °C. Kayu apu sangat

sensitif terhadap salju dan pertumbuhannya terbatas pada daerah beriklim dengan musim salju yang berkepanjangan. Kayu apu dapat bertahan untuk waktu yang lama pada daerah berlumpur atau di lokasi yang lembab lainnya seperti gorong-gorong di pinggir jalan (Department of Primary Industries, 2006).

Tumbuhan *Pistia stratiotes* diketahui berasal dari Afrika selatan dan Amerika selatan. Namun ada juga yang berpendapat bahwa tumbuhan ini merupakan tumbuhan asli Asia. Sekarang tumbuhan ini telah ditemukan hampir diseluruh negara beriklim tropis diseluruh dunia. Hal ini disebabkan karena kayu apu atau lebih dikenal dengan *water lettuce* ini bisa bertahan pada kondisi lingkungan yang kotor dan basah karena mempunyai kemampuan akumulasi senyawa logam dan non organik lainnya didalam sistem perakarannya (Nuriasmita, 2012).

2.6.4 Keunggulan Kayu Apu

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai tumbuhan air memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar organik tinggi. Kayu apu juga dibudidayakan sebagai makanan ternak. Tanaman ini berkhasiat sebagai pelembut dan penyejuk, obat disentri, haematurie, antiseptik, insektisida dan obat asma. Kemampuan mencengkeram lumpur dengan akarnya dimanfaatkan sebagai pembersih air sungai yang kotor. Dalam industri, tanaman ini digunakan sebagai penyerap unsur-unsur toksis pada air limbah. Keunggulan tanaman ini diantaranya 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 (Fachrurrozi, *et al.*, 2010).

Penggunaan kayu apu sebagai biofilter memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan enceng gondok, diantaranya kayu apu memiliki akar seperti bulu berbentuk labirin-labirin yang lembut dan ringan, berwarna putih, ungu dan hitam. Akar menyebar dengan akar pokok yang panjangnya mencapai 90 mm,

perkembangbiakan dengan tunas vegetatif lebih cepat, dan panjangnya bisa mencapai 60 cm serta pemeliharaannya relatif mudah (Mustaniroh, *et al.*, 2009).

2.7 Parameter Kualitas Air Pendukung

2.7.1 Suhu

Suhu mempengaruhi aktivitas metabolisme organisme, karena penyebaran organisme baik di lautan maupun di perairan tawar dibatasi oleh suhu perairan tersebut. Suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum laju pertumbuhan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu, dapat menekan kehidupan hewan budidaya bahkan menyebabkan kematian bila peningkatan suhu sampai ekstrim (Kordi dan Tancung, 2005).

Setiap penelitian pada ekosistem air, pengukuran suhu air adalah hal yang mutlak dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas di dalam air serta semua aktivitas biologis di dalam ekosistem air sangat dipengaruhi suhu. Suhu dipengaruhi oleh pertukaran panas antara air dengan udara, ketinggian topografi, masukan air limbah dan penutupan oleh tanaman (Barus, 2002).

Suhu air sangat dipengaruhi oleh jumlah sinar matahari yang jatuh ke permukaan air yang sebagian dipantulkan kembali ke atmosfer dan sebagian lagi diserap dalam bentuk energi panas (Welch, 1952). Pengukuran suhu diperlukan untuk mengetahui karakteristik perairan. Menurut Schwoerbel (1987), suhu air merupakan faktor abiotik yang memegang peranan penting bagi kehidupan organisme perairan. Berdasarkan hasil penelitian Goldman dan Horne (1983) menunjukkan bahwa terjadi penurunan biomassa dan keanekaragaman ikan ketika suhu air meningkat lebih dari 28 °C.

2.7.2 Derajat Keasaman (pH/Poisoning of Hydrogen)

Derajat keasaman dalam suatu perairan merupakan salah satu parameter kimia yang penting dalam memantau kestabilan perairan. Perubahan nilai pH

suatu perairan terhadap organisme akuatik mempunyai batasan tertentu dengan nilai pH yang bervariasi (Simanjuntak, 2012).

Masuknya logam di dalam perairan akan berinteraksi dengan berbagai faktor seperti pH sehingga akan berpengaruh terhadap kelarutan logam. Dengan derajat keasaman tinggi akan mengubah kestabilan ikatan dari karbonat ke hidroksida. Hidroksida ini akan mudah sekali membentuk ikatan permukaan dengan partikel yang berada pada badan perairan. Lama kelamaan persenyawaan yang terjadi antara hidroksida dengan partikel yang berada dalam badan perairan akan mengendap dan membentuk lumpur (sedimen) (Sudarwin, 2008).

Derajat keasaman merupakan faktor lingkungan kimia air yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.). Menurut pendapat Soesono (1989) bahwa pengaruh bagi organisme sangat besar dan penting, kisaran pH yang kurang dari 6,5 akan menekan laju pertumbuhan bahkan tingkat keasamannya dapat mematikan dan tidak ada laju reproduksi, sedangkan pH 6,5 – 9 merupakan kisaran optimal dalam suatu perairan.

2.7.3 Oksigen Terlarut (DO/Dissolved Oxygen)

Oksigen adalah gas tak berbau, tak berasa, dan hanya sedikit larut dalam air. Kadar oksigen terlarut dapat dijadikan ukuran untuk menentukan kualitas air. Kehidupan di air dapat bertahan jika terdapat oksigen terlarut minimal sebanyak 5 ppm (5 part per million atau 5 mg oksigen untuk setiap liter air). Selebihnya bergantung kepada ketahanan organisme, derajat keaktifannya, kehadiran bahan pencemar, suhu air, dan sebagainya. Oksigen terlarut dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan dari atmosfer (udara) yang masuk ke dalam air dengan kecepatan tertentu. Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh bervariasi tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah tingkat kejenuhan (Kristanto, 2002).

Effendi (2003), menjelaskan bahwa hubungan antara kadar oksigen terlarut jenuh dengan suhu yaitu semakin tinggi suhu maka kelarutan oksigen dan gas-gas lain juga berkurang dengan meningkatnya salinitas, sehingga kadar oksigen terlarut di laut cenderung lebih rendah dari pada kadar oksigen di perairan tawar. Selanjutnya dikatakan bahwa peningkatan suhu sebesar 1 °C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10 % (Brown, 1978 *dalam* Effendi, 2003).

Distribusi oksigen secara vertikal dipengaruhi oleh gerakan air, proses kehidupan di laut dan proses kimia. Menurut Sutika (1989) pada dasarnya proses penurunan oksigen dalam air disebabkan oleh proses kimia, fisika dan biologi yaitu proses respirasi baik oleh hewan maupun tanaman, proses penguraian (dekomposisi) bahan organik dan proses penguapan. Kelarutan oksigen ke dalam air terutama dipengaruhi oleh faktor suhu. Oleh sebab itu, kelarutan gas oksigen pada suhu rendah relatif lebih tinggi jika dibandingkan pada suhu tinggi. Sedangkan Fardiaz (1992) menyatakan bahwa kejenuhan oksigen dalam air dipengaruhi oleh suhu air, semakin tinggi suhu maka konsentrasi oksigen terlarut semakin turun. Konsentrasi dan distribusi oksigen di laut ditentukan oleh kelarutan gas oksigen dalam air dan proses biologis yang mengontrol tingkat konsumsi dan pembebasan oksigen.

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah kayu apu jenis *Pistia stratiotes* L. dan logam berat timbal (Pb). Parameter kualitas air yang diukur antara lain suhu, derajat keasaman (pH/*Poisoning of Hydrogen*) dan oksigen terlarut (DO/*Dissolved Oxygen*).

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 10.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen dilakukan dengan memberikan *treatment* (perlakuan) yang berbeda pada setiap grup sampel. Dengan adanya *treatment* yang berbeda, maka reaksi yang terjadi akan berbeda. Jadi inti dari metode eksperimen adalah “what if” = apa yang terjadi apabila dilakukan perubahan pada setiap grup sampel. Eksperimen adalah tindakan pertama dalam cara empiris terhadap pengetahuan (Veronica, 2009).

Menurut Sastrosupadi (2000), metode eksperimen bertujuan untuk menyelidiki ada dan tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberi perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyelidiki kontrol untuk perbandingan. Adapun dalam penelitian ini perlakuan yang digunakan adalah kontrol dan pemberian kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dengan persentase kerapatan yang berbeda.

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap meliputi penyortiran kayu apu (*Pistia stratiotes* L.), aklimatisasi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.), memasukkan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) ke dalam bak percobaan serta mengukur parameter utama dan pendukung.

3.4.1 Penyortiran Kayu Apu

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) diperoleh dari suatu populasi di daerah persawahan tepatnya di Kelurahan Kedopok Kota Probolinggo (dapat dilihat pada Lampiran 4), lalu dicuci bersih. Kemudian dipilih daun yang segar dan tidak menguning serta diambil ukuran yang sama. Hal ini sesuai dengan pendapat Ulfin (2001) yang menyatakan bahwa tanaman kayu apu yang digunakan mempunyai ukuran yang sama terutama pada bagian akarnya, agar antar tanaman memiliki penyerapan yang tidak jauh berbeda.

3.4.2 Aklimatisasi Kayu Apu

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang telah dipilih kemudian diaklimatisasi selama 3 hari. Aklimatisasi ini menggunakan media tanam air dan digunakan sebagai stok kultur yang selanjutnya siap dipakai untuk percobaan. Proses aklimatisasi ini dapat dilihat pada Lampiran 5. Tanaman diaklimatisasi dengan tujuan agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya, dan untuk mengurangi logam serta kotoran dalam jaringan akar sehingga diharapkan tanaman dapat menyerap dalam kondisi optimal (Ulfin dan Widya, 2005).

3.4.3 Memasukkan Kayu Apu ke Dalam Bak Percobaan

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang telah diaklimatisasi kemudian dimasukkan ke dalam bak percobaan yang telah diisi dengan air limbah pabrik yang mengandung Pb (0,37 mg/l) sebanyak 15 liter dan diberi aerasi. Tujuan dari

pemberian aerasi ini adalah untuk meningkatkan oksigen terlarut di dalam air dan mengaduk perairan agar kondisinya homogen. Bak percobaan yang digunakan adalah bak hitam bulat dengan ukuran 20 liter dengan ketinggian bak 16,5 cm.

3.4.4 Mengukur Parameter Utama dan Parameter Pendukung

Pengukuran parameter utama meliputi analisa kadar Pb pada air, akar dan daun. Penelitian ini dilakukan setiap 8 hari sekali yaitu hari ke-0, ke-8, ke-16 dan hari ke-24. Sedangkan parameter pendukungnya yaitu pengukuran parameter kualitas air yang meliputi suhu, derajat keasaman (pH/*Poisoning of Hydrogen*) dan oksigen terlarut (DO/*Dissolved Oxygen*). Pengukuran parameter kualitas air ini juga dilakukan setiap 8 hari sekali, mulai hari ke-0 sampai hari ke-24. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi media air yang menjadi habitat kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) selama penelitian dan pengaruhnya terhadap penyerapan logam berat Pb serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.).

3.5 Analisis Logam Berat Timbal (Pb)

Pengukuran logam berat Pb baik sampel padat kayu apu (akar dan daun) maupun sampel cair (media air) dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang. Metode analisis Pb adalah sebagai berikut:

a. Sampel Padat

Metode analisis logam Pb pada sampel padat kayu apu menurut Bassett, *et al.* (1991) sebagai berikut:

1. Menimbang contoh ± 2 gram.
2. Memasukkan ke dalam cawan porselen.

3. Memasukkan ke dalam tanur dengan memanaskan pada suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$ (sejenis daun, akar) ± 2 jam sampai abu.
4. Mendinginkannya.
5. Menambahkan 5 ml larutan aquaregia ($3\text{HCl} : 1\text{HNO}_3$).
6. Memanaskan di atas kompor listrik sampai asat.
7. Mendinginkannya.
8. Menambahkan larutan HNO_3 encer (2,5 N) sebanyak 10 ml.
9. Memanaskan di atas kompor listrik perlahan-lahan ± 5 menit sambil diaduk dengan pengaduk gelas.
10. Menyaring ke labu 100 ml.
11. Menambahkan aquadest sampai tanda batas.
12. Mengocoknya sampai homogen.
13. Membaca dengan menggunakan mesin *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) dengan memakai katode (lampu) yang sesuai (apabila ingin menentukan Pb, memakai lampu Pb) dengan panjang gelombang 217 nm dan mencatat absorbansinya.
14. Hasil.

b. Sampel Cair

Metode analisis logam Pb pada sampel cair limbah pabrik asbes menurut Bassett, *et al.* (1991) sebagai berikut:

1. Mengambil contoh air sebanyak 25 ml.
2. Memasukkan ke dalam gelas kimia 100 ml.
3. Menambahkan asam nitrat pekat 1 ml.
4. Memanaskan di atas kompor listrik sampai tertinggal $\pm 2/3$.
5. Menyaring ke labu 25 ml.
6. Menambahkan aquadest sampai tanda batas.

7. Mengocoknya sampai homogen.
8. Membaca dengan menggunakan mesin *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) dengan memakai katode (lampu) yang sesuai (untuk menentukan Pb, memakai lampu Pb) dengan panjang gelombang 217 nm dan mencatat absorbansinya.
9. Hasil.

3.6 Prosedur Pengukuran Kualitas Air

Alat dan bahan pengukuran kualitas air dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.6.1 Suhu

Prosedur pengukuran suhu menurut Kordi dan Tancung (2005), adalah:

- a) Mencilupkan thermometer ke dalam media kultur.
- b) Membiarkan 1 – 2 menit agar keadaannya konstan.
- c) Mengangkat dan membaca besarnya suhu pada skala thermometer.

3.6.2 Derajat Keasaman (pH/Poisoning of Hydrogen)

Prosedur pengukuran pH menurut Bloom (1998), adalah:

- a) Mengkalibrasi pH meter terlebih dahulu dengan aquades.
- b) Mencilupkan pH meter ke dalam media air beberapa saat.
- c) Membaca angka yang tertera pada alat tersebut.

3.6.3 Dissolved Oxygen (DO)

Menurut Laboran Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Probolinggo, prosedur pengukuran DO menggunakan HI 3810 Dissolved Oxygen Test Kit adalah:

- a) Memasukkan air sampel ke dalam botol DO 50 ml sampai penuh.
- b) Menambahkan larutan *manganous sulphate* sebanyak 5 tetes.
- c) Menambahkan larutan *alkali azide* sebanyak 5 tetes.
- d) Menambahkan air sampel ke dalam botol DO sampai penuh.

- e) Menutup botol DO dengan penutup dan mengocoknya sampai homogen.
- f) Menambahkan larutan *sulphuric acid* sebanyak 10 tetes.
- g) Menutup botol DO dengan penutup dan mengocoknya sampai homogen.
- h) Memasukkan 5 ml sampel pada botol DO ke dalam gelas ukur 20 ml.
- i) Menambahkan larutan *starch* sebanyak 1 tetes dan dihomogenkan.
- j) Dititrasi dengan menggunakan larutan titran sampai berwarna bening
(mL x 10 = ... mg/l) dan dicatat hasilnya.

3.7 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan membutuhkan 12 bak percobaan yang diisi dengan limbah yang mengandung timbal (Pb). Kombinasi perlakuan yang digunakan adalah kombinasi 6 x 4 antara perlakuan kerapatan (0, 20, 40, 60, 80, dan 100 persen) dan waktu pengamatan (0, 8, 16, dan 24 hari). Karena diulang 2 kali, maka satuan percobaannya terdiri dari 48 satuan percobaan. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan 2 faktor yaitu faktor a = perlakuan kerapatan dan faktor b = waktu pengamatan. Rancangan acak lengkap (RAL) digunakan untuk percobaan yang mempunyai media atau tempat percobaan yang seragam atau homogen (Sastrosupadi, 2000). Metode analisis yang digunakan adalah sidik ragam (ANOVA: *Analysis of Variance*). Kemudian menentukan varietas mana yang lebih potensial dengan mencari nilai perbandingan BNT (Beda Nyata Terkecil). BNT adalah suatu kriteria yang dapat dipakai untuk melakukan uji statistik antara sepasang harga rata-rata yang telah direncanakan (Haeruman, 2004). Model matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b$ dan $k = 1, 2, \dots, u$

Y_{ijk} = Pengamatan Faktor A taraf ke- i , Faktor B taraf ke- j dan Ulangan ke- k

μ = Rataan umum

A_i = Pengaruh Faktor A pada taraf ke- i

B_j = Pengaruh Faktor B pada taraf ke- j

AB_{ij} = Interaksi antara Faktor A dengan Faktor B

ε_{ijk} = Pengaruh galat pada Faktor A taraf ke- i , Faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k

Model Rancangan Percobaan Penelitian Utama dapat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Model rancangan percobaan penelitian utama

Perlakuan	Ulangan	
	1	2
A	A ₇	A ₃
B	B ₁₀	B ₁
C	C ₁₂	C ₅
D	D ₄	D ₈
E	E ₆	E ₁₁
F	F ₉	F ₂

A. Keterangan angka pada Tabel 2:

1 – 12 merupakan tata letak bak-bak percobaan yang dilakukan secara acak.

1 = bak ke-1 ulangan ke-2

7 = bak ke-7 ulangan ke-1

2 = bak ke-2 ulangan ke-2

8 = bak ke-8 ulangan ke-2

3 = bak ke-3 ulangan ke-2

9 = bak ke-9 ulangan ke-1

4 = bak ke-4 ulangan ke-1

10 = bak ke-10 ulangan ke-1

5 = bak ke-5 ulangan ke-2

11 = bak ke-11 ulangan ke-2

6 = bak ke-6 ulangan ke-1

12 = bak ke-12 ulangan ke-1

B. Keterangan huruf pada Tabel 2:

A – F merupakan perlakuan yang diberikan pada masing-masing bak percobaan.

A = Tanpa diberi kayu apu (kontrol)

B = Diberi kayu apu 20% dari luas bak percobaan

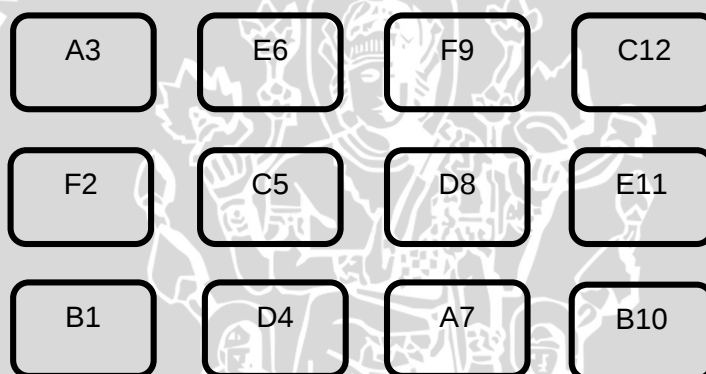
C = Diberi kayu apu 40% dari luas bak percobaan

D = Diberi kayu apu 60% dari luas bak percobaan

E = Diberi kayu apu 80% dari luas bak percobaan

F = Diberi kayu apu 100% dari luas bak percobaan

Tata letak bak-bak percobaan dilakukan secara acak, adapun denah tata letak bak-bak percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah penelitian

3.8 Analisis Data

Untuk mengetahui penyerapan logam berat Pb di air limbah pabrik oleh kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) maka dilakukan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan kombinasi perlakuan yang digunakan adalah kombinasi 6 (perlakuan kerapatan) x 4 (waktu pengamatan) sehingga terdapat 24 kombinasi perlakuan dengan 2 kali ulangan, maka satuan percobaannya terdiri dari 48 satuan percobaan. Analisa data dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Removal Efficiency (RE)

Menurut Indrasti, *et al.* (2012), perhitungan *removal efficiency* dalam penelitian ini didasarkan pada penurunan konsentrasi logam dalam limbah (mg/l) selama 24 hari perlakuan. Adapun rumus yang digunakan untuk mengukur kemampuan *removal efficiency* (RE) adalah :

$$RE = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

RE = Removal efficiency

A = Konsentrasi awal logam dalam limbah

B = Konsentrasi akhir logam dalam limbah

2. Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Mengetahui terjadinya akumulasi logam berat Pb pada kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi logam di air, akar dan daun. Menurut Siahaan, *et al.* (2013), kandungan Pb pada daun dianalisis secara deskriptif melalui histogram data untuk membandingkan kondisi pada awal dan akhir waktu perlakuan. Akumulasi logam berat dihitung dengan Faktor Biokonsentrasi (BCF), yang digunakan untuk menghitung kemampuan akar dan daun dalam mengakumulasi logam berat Pb, dengan rumus sebagai berikut:

$$BCF = \frac{\text{Logam berat Pb pada akar atau daun}}{\text{Logam berat Pb pada air}}$$

Menurut Malayeri, *et al.* (2008), jika nilai BCF :

1 - 10 = (tumbuhan tergolong akumulator tinggi)

0,1 – 1 = (tumbuhan tergolong akumulator sedang)

0,01 – 0,1 = (tumbuhan tergolong akumulator rendah)

< 0,01 = (tumbuhan tergolong nonakumulator)

3. Faktor Translokasi (TF)

Faktor Translokasi (TF) logam berat digunakan untuk menghitung proses translokasi logam berat dari akar ke daun, dihitung dengan rumus:

$$TF = \frac{\text{Logam berat Pb pada daun}}{\text{Logam berat Pb pada akar}}$$

Menurut Haque, *et al.* (2008), jika nilai:

TF > 1 digunakan untuk tujuan fitoekstraksi

TF < 1 sebagai ekskluder (digunakan untuk tujuan fitostabilisasi)

4. Fitoremediasi (FTD)

Menurut Puspita, *et al.* (2013), selisih antara nilai BCF dan TF selanjutnya digunakan untuk menghitung fitoremediasi atau FTD. Yoon, *et al.* (2006) menjelaskan bahwa FTD dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$FTD = BCF - TF$$

5. Perhitungan Analisis Ragam

Rancangan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan analisa data menggunakan Uji Anova Interaksi Dua Faktor pada software SPSS versi 16.0. Analisa faktorial merupakan analisa yang mampu menjelaskan signifikansi secara umum dan signifikansi per pasangan. Menurut Santoso (2009) yang menyatakan bahwa analisa ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada interaksi antar faktor tersebut.

Kemudian uji lanjutan yang dapat dilakukan untuk mengetahui kombinasi mana saja bagian yang berbeda pada tiap perlakuan diperlukan analisis yang dikenal dengan istilah *multiple comparison* (Nawari, 2010). Salah satu jenis *multiple comparisons* yang paling sering digunakan adalah uji LSD (*Least Significant Difference*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dalam *screen house* tepatnya di lingkungan Dinas Pertanian Kota Probolinggo yang dapat dilihat pada Lampiran 2. Sirkulasi udara di dalam *screen house* cukup baik dan cahaya bisa masuk 90% ke dalam *screen house* sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman untuk bertahan hidup. Dengan cahaya yang cukup maka proses fotosintesis akan berjalan dengan baik. Di sekeliling *screen house* ditutup oleh paranet agar tidak ada serangga yang dapat masuk dan atapnya terbuat dari asbes plastik agar cahaya matahari tetap dapat masuk ke dalam *screen house* yang dapat dilihat pada Gambar 4. Penelitian ini dilakukan di dalam *screen house* agar tidak terkontaminasi oleh faktor lain seperti air hujan maupun serangga yang dapat mengganggu penelitian.



Gambar 4. Lokasi penelitian

4.2 Karakteristik Limbah Pabrik Asbes

Pabrik asbes di Kota Probolinggo merupakan pabrik pembuatan asbes dengan komposisi yaitu semen gresik 80%, serat asbes 15% dan kertas semen gresik 5%. Adapun proses pembuatannya yaitu ketiga bahan tersebut diaduk, kemudian ditambahkan air sampai menjadi bubur, lalu disaring, setelah itu ampasnya dipress untuk dijadikan lembaran-lembaran dan dicetak menjadi asbes. Sisa penyaringan tadi dibuang menjadi limbah. Limbah cair pada pabrik asbes (Lampiran3) berwarna coklat keruh namun tidak berbau yang dapat dilihat pada Gambar 5. Limbah ini memiliki suhu yang cukup tinggi yaitu sebesar 31,1 °C, selain itu memiliki nilai oksigen terlarut yang cukup rendah yaitu sebesar 1,2 mg/l. Limbah cair pabrik asbes ini bersifat basa karena nilai derajat keasaman dari limbah cair pabrik asbes sebesar 10,11. Kadar timbal (Pb) dalam limbah cair pabrik asbes tergolong cukup tinggi yaitu sebesar 0,37 mg/l (hasil uji pendahuluan). Hal ini disebabkan karena hampir sebagian proses pembuatan asbes menggunakan semen gresik yang diindikasikan mengandung timbal (Pb).



Gambar 5. Limbah pabrik asbes berwarna coklat keruh

4.3 Deskripsi Tanaman Kayu Apu

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang didapatkan dari daerah persawahan di Kelurahan Kedopok Kota Probolinggo memiliki kondisi yang baik yang dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini terlihat dari kondisi daun yang berwarna hijau segar dan tidak menguning. Penyortiran kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dilakukan dengan cara memilih ukuran yang lebih kurang sama, baik dari jumlah daun maupun panjang akarnya. Jumlah daun pada kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) tersebut berkisar antara 8 – 10 lembar daun. Sedangkan akarnya tumbuh memanjang dan berwarna coklat dengan ukuran berkisar antara 16 – 18,5 cm. Hal ini sesuai dengan pendapat Ulfen (2001) yang menyatakan bahwa tanaman kayu apu yang digunakan sebaiknya mempunyai ukuran yang sama terutama pada bagian akarnya, agar antar tanaman memiliki penyerapan yang tidak jauh berbeda.



Gambar 6. Kayu apu didapatkan dari persawahan Kelurahan Kedopok

4.4 Kondisi Morfologi Tanaman Kayu Apu Selama Penelitian

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang ditanam di bak-bak percobaan mengalami perubahan fisik yang cukup nyata. Hal ini terlihat terjadinya perubahan morfologi dari minggu per minggu selama penelitian baik dari akar, daun maupun warna air yang dapat dilihat pada Lampiran 7.

a. Hari ke-0

Pada hari ke-0, tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam kondisi yang baik. Hal ini ditandai dengan seluruh bagian tubuhnya dalam kondisi segar yang menandakan bahwa tanaman ini mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru karena telah dilakukan proses aklimatisasi sebelumnya sehingga dipilih tanaman yang masih segar saja, seperti daun yang berwarna hijau segar dan tidak menguning untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Hal ini sesuai dengan pendapat Ulfin dan Widya (2005) yang menyatakan bahwa tanaman yang segar mempunyai konsentrasi dalam jaringan sel akar yang tidak terlalu pekat, karena tanaman sudah dilakukan aklimatisasi terlebih dahulu untuk menghilangkan kejenuhan dan memperbaiki sel-sel yang rusak.

Pada hari ke-0 ini, tanaman kayu apu diletakkan pada masing-masing bak dengan kerapatan yang berbeda (Lampiran 6) dan diberi aerasi. Untuk bak 1 diberi kerapatan 20%, bak 2 diberi kerapatan 100%, bak 3 diberi kerapatan 0% (tanpa diberi kayu apu atau kontrol), bak 4 diberi kerapatan 60%, bak 5 diberi kerapatan 40%, bak 6 diberi kerapatan 80%, bak 7 diberi kerapatan 0% (tanpa diberi kayu apu atau kontrol), bak 8 diberi kerapatan 60%, bak 9 diberi kerapatan 100%, bak 10 diberi kerapatan 20%, bak 11 diberi kerapatan 80%, dan bak 12 diberi kerapatan 40% yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kondisi kayu apu pada hari ke-0

b. Hari ke-8

Pada hari ke-8, beberapa daun pada semua bak percobaan mengalami sedikit perubahan fisik. Hal ini terlihat dari bagian ujung dan tepi daun yang mulai berwarna kuning pada kerapatan 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% yang dapat dilihat pada Gambar 8. Menurut Mamonto (2013), penguningan yang terjadi pada bagian beberapa individu kayu apu disebabkan karena respon toksisitas terhadap pertumbuhan kayu apu dan kurangnya nutrisi untuk proses metabolisme tanaman uji. Nutrisi ini dibutuhkan untuk proses metabolisme tanaman selama penelitian.

Namun jika dilihat secara keseluruhan tanaman kayu apu masih dalam kondisi baik karena hanya beberapa daun saja yang mulai menguning dan pada beberapa tumbuhan mulai muncul tunas baru. Daun yang mulai menguning ini disebabkan karena berkurangnya zat hara dalam air limbah dan terserapnya zat toksik oleh tumbuhan. Menurut Haslam (1997), perubahan warna daun menjadi kekuningan pada beberapa spesies dapat disebabkan oleh pencemaran dan

biasanya tumbuhnya akar dan tunas baru adalah cara tumbuhan untuk tetap bertahan hidup.



Gambar 8. Kondisi kayu apu pada hari ke-8

c. Hari ke-16

Pada hari ke-16, terlihat perbedaan yang nyata dari hari ke-8. Tanaman kayu apu pada semua bak percobaan mulai layu, daun mulai berwarna kuning, beberapa serabut akar menjadi rontok dan akhirnya sebagian mati dengan meningkatnya waktu kontak yang dapat dilihat pada Gambar 9. Tetapi beberapa daun masih ada yang berwarna hijau segar seperti pada bak dengan kerapatan 60%, 80% dan 100%. Meskipun terlihat jelas bahwa lebih banyak yang mati daripada yang hidup. Fachrurozi, *et al.* (2010) menyatakan bahwa perubahan pada daun disebabkan oleh beban polutan tinggi yang akan berdampak terhadap penurunan kualitas dan kuantitas klorofil. Sedangkan Puspita, *et al.* (2013) menyatakan bahwa fungsi klorofil itu sendiri adalah untuk mentransfer energi cahaya ke dalam senyawa organik untuk diubah menjadi gula dalam proses

fotosintesis. Dengan kerusakan ini klorofil akan mengalami kerusakan fungsi. Sebagai akibatnya, tumbuhan tidak akan tumbuh secara normal karena metabolismenya terganggu.



Gambar 9. Kondisi kayu apu pada hari ke-16

d. Hari ke-24

Pada hari ke-24, semua tanaman kayu apu pada bak-bak percobaan mengalami fase letal. Tanaman mengakumulasi Pb dalam jumlah yang banyak sehingga tingkat toksisitas di dalam tubuhnya semakin meningkat. Keadaan ini akan berdampak pada kondisi morfologi tanaman seperti daun yang mulai menguning, layu bahkan letal serta akar yang mulai lepas dari daunnya yang dapat dilihat pada Gambar 10. Menurut Suryati dan Priyanto (2003), gejala toksisitas diperlihatkan oleh ukuran daun yang menjadi lebih kecil dan warna daun menjadi kuning. Perubahan warna pada daun merupakan akibat terjadinya gangguan terhadap proses pembentukan klorofil atau yang dikenal dengan istilah klorosis. Jika pembentukan klorofil terganggu, maka proses fotosintesis juga akan

terganggu, pada akhirnya akan mengganggu pertumbuhan yang mengakibatkan kematian tanaman (Ali dan Rina, 2011).



Gambar 10. Kondisi kayu apu pada hari ke-24

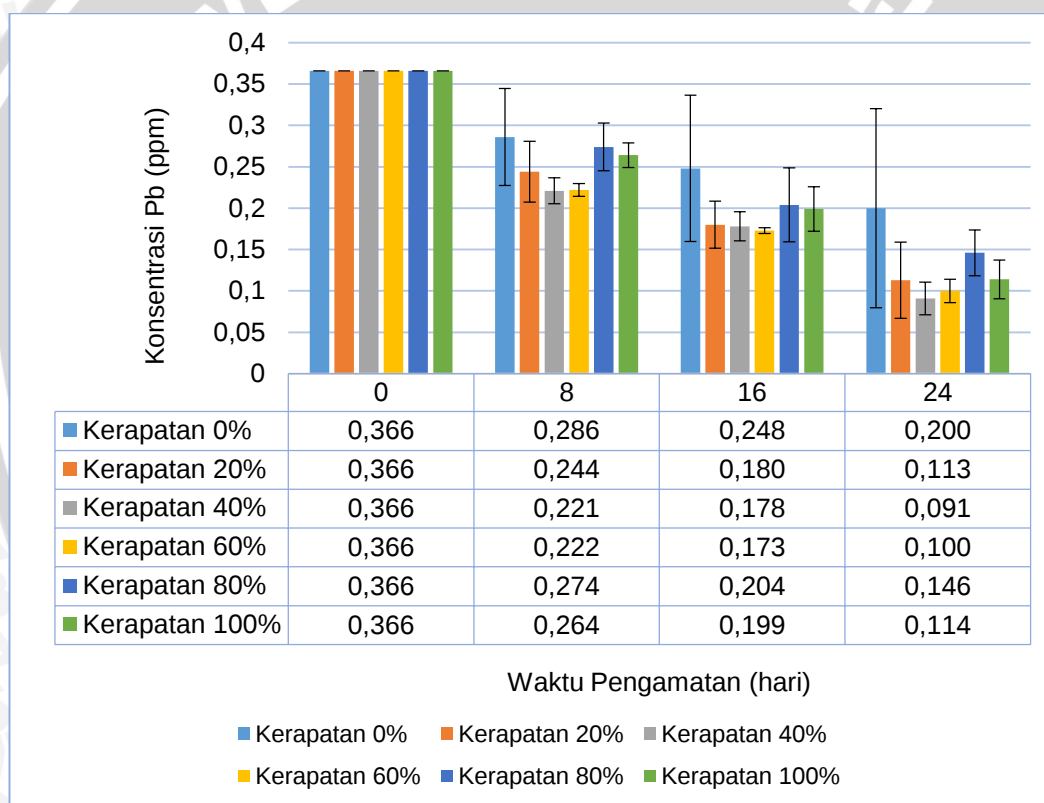
Kerusakan pada daun dan lepasnya akar yang terjadi pada tanaman kayu apu dengan berbagai gejala yang tampak merupakan hasil akhir dari berbagai proses yang dimulai dengan masuknya zat pencemar ke dalam tanaman. Menurut Aprilia dan Purwani (2013), faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan pada suatu tanaman antara lain jenis spesies tanaman, karakter fisik daun, umur tanaman, konsentrasi zat pencemar, lamanya proses pencemaran, dan periode waktu pencemaran.

4.5 Kadar Timbal (Pb) pada Air Limbah

Kadar timbal (Pb) dalam limbah pabrik asbes (Lampiran 11) mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan. Pemberian kayu apu dengan kerapatan yang berbeda ini mampu menurunkan kadar Pb dengan lama pengamatan 24 hari hingga sesuai dengan baku mutu air limbah yang telah

ditetapkan. Menurut Murdhiani, *et al.* (2011), penurunan konsentrasi logam berat timbal (Pb) disebabkan karena tumbuhan air memiliki keunikan dalam mengolah limbah dan kemampuannya dalam menyerap logam berat tidak diragukan lagi.

Berdasarkan analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada perlakuan kerapatan yaitu sebesar 0,039 (Lampiran 19). Karena probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang nyata kadar Pb dalam air limbah pada variasi kerapatan tanaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Histogram rerata kadar Pb dalam air limbah pabrik asbes

Pada Gambar 11 terlihat jelas bahwa kadar logam berat Pb dalam air limbah pada kerapatan 0% (kontrol) dengan kerapatan 20%, 40% dan 60% menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD (*Least Significant Difference*), terlihat bahwa nilai probabilitas *Multiple Comparisons* dari

variasi kerapatan tanaman kayu apu (*Pistias stratiotes* L.) antara kerapatan 0% dengan kerapatan 20%, kerapatan 0% dengan kerapatan 40%, kerapatan 0% dengan kerapatan 60% adalah $< 0,05$ (Lampiran 19), maka terbukti bahwa kadar Pb dalam air limbah pada variasi kerapatan tanaman memiliki perbedaan yang signifikan.

Jika dilihat berdasarkan variasi waktu, terlihat jelas bahwa kadar logam berat Pb dalam air limbah pada hari ke-0, hari ke-8, hari ke-16 dan hari ke-24 memiliki perbedaan yang signifikan juga. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada waktu pengamatan yaitu sebesar 0,000 (Lampiran 19). Karena probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang nyata kadar Pb dalam air limbah pada tiap waktu pengamatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Pada masing-masing waktu pengamatan menunjukkan nilai kadar Pb yang berbeda secara signifikan. Hal ini dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD (*Least Significant Difference*), terlihat bahwa nilai probabilitas *Multiple Comparisons* dari tiap waktu pengamatan antara hari ke-0 dengan hari ke-8, hari ke-0 dengan hari ke-16, hari ke-0 dengan hari ke-24, hari ke-8 dengan hari ke-16, hari ke-8 dengan hari ke-24, hari ke-16 dengan hari ke-24 adalah $< 0,05$ (Lampiran 19), maka terbukti bahwa kadar Pb dalam air limbah pada tiap waktu pengamatan memiliki perbedaan yang signifikan.

Kadar Pb dalam air limbah mulai hari ke-0 sampai hari ke-24 menunjukkan adanya penurunan. Rata-rata konsentrasi Pb hari ke-0 pada semua kerapatan menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 0,366 ppm. Hari ke-0 merupakan hari dimana tanaman air mulai di *treatment* dalam air limbah asbes. Sehingga belum

ada logam berat yang diserap oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada hari tersebut.

Kemudian pada hari ke-8 sampai hari ke-24, tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mulai mengakumulasi Pb yang terdapat dalam limbah tersebut. Hal ini terlihat dari konsentrasi Pb dalam air limbah yang terus menurun hingga hari ke-24, seperti yang terlihat pada Gambar 11. Pada hari ke-8 didapatkan rata-rata konsentrasi Pb pada kerapatan 0% (kontrol) sebesar 0,286 ppm, pada kerapatan 20% sebesar 0,244 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,221 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,222 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,274 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,264 ppm.

Pb pada hari ke-16 terus mengalami penurunan, seperti pada kerapatan 0% (kontrol), didapatkan rata-rata konsentrasi Pb dalam air limbah sebesar 0,248 ppm, pada kerapatan 20% sebesar 0,180 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,178 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,173 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,204 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,199 ppm.

Pada hari ke-24 merupakan waktu penyerapan yang paling optimal untuk menurunkan konsentrasi Pb dalam limbah. Hal ini dikarenakan Pb yang terdapat dalam limbah telah sesuai dengan baku mutu air limbah. Pada kerapatan 0% (kontrol) didapatkan rata-rata konsentrasi Pb dalam air limbah sebesar 0,200 ppm. Pb dalam bak kontrol ini tetap mengalami penurunan dikarenakan sifat dari logam berat yang apabila masuk ke dalam suatu perairan akan mengalami pengendapan. Hal ini sesuai dengan pendapat Bryan (1976) yang menyatakan bahwa logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi. Sifat inilah yang menyebabkan logam berat Pb pada kerapatan 0% (kontrol) tetap mengalami penurunan meskipun tidak begitu signifikan dan belum sesuai dengan baku mutu air limbah. Kemudian pada kerapatan 20% didapatkan konsentrasi Pb sebesar 0,113 ppm, pada kerapatan

40% sebesar 0,091 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,100 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,146 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,114 ppm. Kadar Pb pada hari terakhir mulai kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% menunjukkan kadar Pb yang telah sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yang menyatakan bahwa parameter timbal (Pb) untuk golongan I sebesar 0,1 mg/l.

Pada hari ke-24, didapatkan kadar Pb dalam air limbah yang tertinggi terdapat pada kerapatan 0% (kontrol) sebesar 0,200 ppm sedangkan kadar Pb terendah terdapat pada kerapatan 40% sebesar 0,091 ppm. Jadi dapat disimpulkan bahwa kerapatan 40% merupakan kerapatan yang paling optimal untuk menurunkan kadar Pb dalam air limbah dengan waktu penyerapan 24 hari. Pada kerapatan 40% ini kadar Pb dalam air limbah mengalami penurunan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan yang lain. Artinya pada kerapatan 40%, tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) memiliki efisiensi penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan yang lain. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada sub bab "*Removal Efficiency*" hal 58.

4.6 Kadar Timbal (Pb) pada Akar *Pistia stratiotes* L.

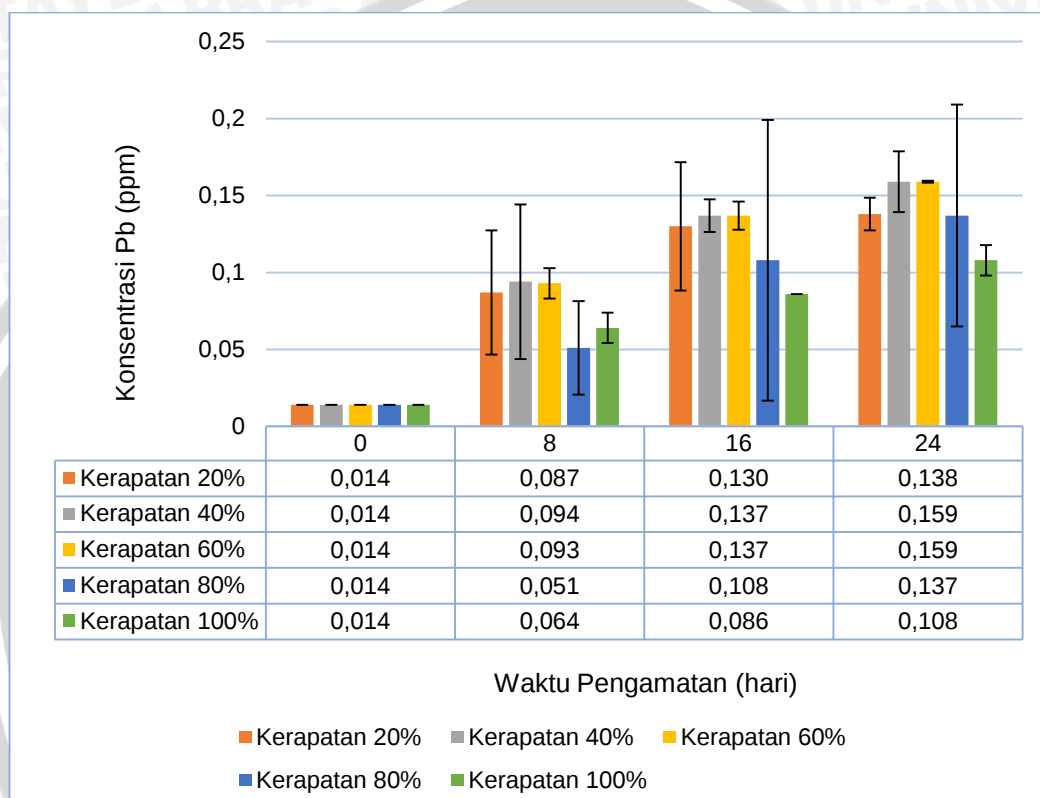
Kadar timbal (Pb) pada akar *Pistia stratiotes* L. (Lampiran 12) mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan. Kadar logam berat Pb terdapat dalam jumlah yang besar yaitu di bagian akarnya. Hal ini dikarenakan akar merupakan bagian yang pertama kali berinteraksi dengan secara langsung dengan Pb. Kadar Pb dengan jumlah yang cukup tinggi dalam air limbah akan diserap oleh akar dalam jumlah yang besar dibandingkan dengan bagian tanaman yang lain.

Kandungan Pb pada limbah pabrik asbes telah diserap oleh akar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dengan kerapatan tanaman yang berbeda. Akar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mampu mengikat Pb dikarenakan jumlah akar yang dimiliki kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) merupakan tipe akar serabut berbentuk labirin-labirin yang lembut dan ringan dalam jumlah banyak. Penyerapan Pb oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) ini terjadi dalam suatu proses dimana mikroorganisme yang terdapat pada permukaan akar tumbuhan melakukan dekomposisi bahan organik dan partikel lain yang menempel pada akar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) (Ghopal and Sharma, 1981). Lebatnya akar pada tanaman kayu apu ini menyebabkan mikroorganisme yang berada pada akar tanaman menguraikan bahan organik yang lebih banyak pula.

Selain itu, umumnya sel-sel akar tanaman memiliki konsentrasi ion yang lebih tinggi daripada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Foth (1991) menjelaskan bahwa penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient elektrokimia, sedangkan anion harus diangkut secara aktif kedalam sel akar tanaman sesuai dengan keadaan gradient konsentrasi melawan gradient elektrokimia.

Air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut adalah dengan memasukkan obyek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur-unsur bermuatan positif, bahkan akar yang sudah mati atau kering masih mengandung muatan negatif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif dari logam berat. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut yaitu *xilem* dan *floem* ke bagian tubuh yang lain, sedangkan untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Selanjutnya logam ditempatkan pada jaringan tubuh

yang lain (Niang, 1999). Inilah upaya yang dilakukan tumbuhan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel. Jadi tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasinya sendiri dengan cara menimbun logam pada bagian tubuh tertentu. Untuk mengetahui peningkatan kadar logam berat Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Histogram rerata kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L.

Berdasarkan analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada perlakuan kerapatan yaitu sebesar 0,215 (Lampiran 20). Karena probabilitas $> 0,05$, maka H_0 diterima, jadi dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. pada variasi kerapatan tanaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Pada Gambar 12 terlihat jelas bahwa kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. antara kerapatan 0% (kontrol), kerapatan 20%, kerapatan 40%, kerapatan 60%, kerapatan 80% dan kerapatan 100% menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Perbedaan yang tidak signifikan ini disebabkan karena tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mulai mengalami fase letal pada hari ke-8 sehingga tanaman tidak mampu mengakumulasi logam berat Pb secara optimal.

Jika dilihat berdasarkan variasi waktu, terlihat jelas bahwa kadar logam berat Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. pada hari ke-0, hari ke-8, hari ke-16 dan hari ke-24 memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada waktu pengamatan yaitu sebesar 0,000 (Lampiran 20). Karena probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang nyata kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. pada tiap waktu pengamatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Pada masing-masing waktu pengamatan menunjukkan nilai kadar Pb yang berbeda secara signifikan. Hal ini dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD (*Least Significant Difference*), terlihat bahwa nilai probabilitas *Multiple Comparisons* dari tiap waktu pengamatan antara hari ke-0 dengan hari ke-8, hari ke-0 dengan hari ke-16, hari ke-0 dengan hari ke-24, hari ke-8 dengan hari ke-16, hari ke-8 dengan hari ke-24 adalah $< 0,05$ (Lampiran 19), maka terbukti bahwa kadar Pb dalam air limbah pada tiap waktu pengamatan memiliki perbedaan yang signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mampu mengakumulasi Pb ke dalam akar pada setiap waktu pengamatan.

Kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. mulai hari ke-0 sampai hari ke-24 menunjukkan adanya peningkatan. Rata-rata kadar Pb hari ke-0 pada semua kerapatan menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 0,014 ppm. Hari ke-0

merupakan hari dimana tanaman air mulai di *treatment* dalam air limbah asbes. Sehingga belum ada logam berat yang diserap oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada hari tersebut. Kadar Pb pada hari ke-0 merupakan konsentrasi Pb dalam tanaman kayu apu itu sendiri. Diindikasikan Pb pada akar *Pistia stratiotes* L. berasal dari air persawahan yang terkontaminasi Pb. Menurut Palar (2012), Pb yang dibuang ke udara melalui asap buangan kendaraan, secara alamiah dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Sehingga kontaminasi Pb dari udara menyebabkan tercemarnya perairan sawah yang selanjutnya mengakibatkan terkontaminasinya akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) meskipun dalam jumlah yang sangat kecil.

Kemudian pada hari ke-8 sampai hari ke-24, tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mulai mengakumulasi Pb yang terdapat dalam limbah tersebut. Hal ini terlihat dari kadar Pb dalam akar yang terus meningkat hingga hari ke-24, seperti yang terlihat pada Gambar 12. Pada hari ke-8 didapatkan rata-rata konsentrasi Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. pada kerapatan 20% sebesar 0,087 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,094 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,093 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,051 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,064 ppm.

Pb pada hari ke-16 terus mengalami peningkatan, seperti pada kerapatan 20%, didapatkan rata-rata kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. sebesar 0,130 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,137 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,137 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,108 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,086 ppm.

Selanjutnya pada hari ke-24, didapatkan rata-rata kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. sebesar 0,138 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,159 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,159 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,137 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,108 ppm.

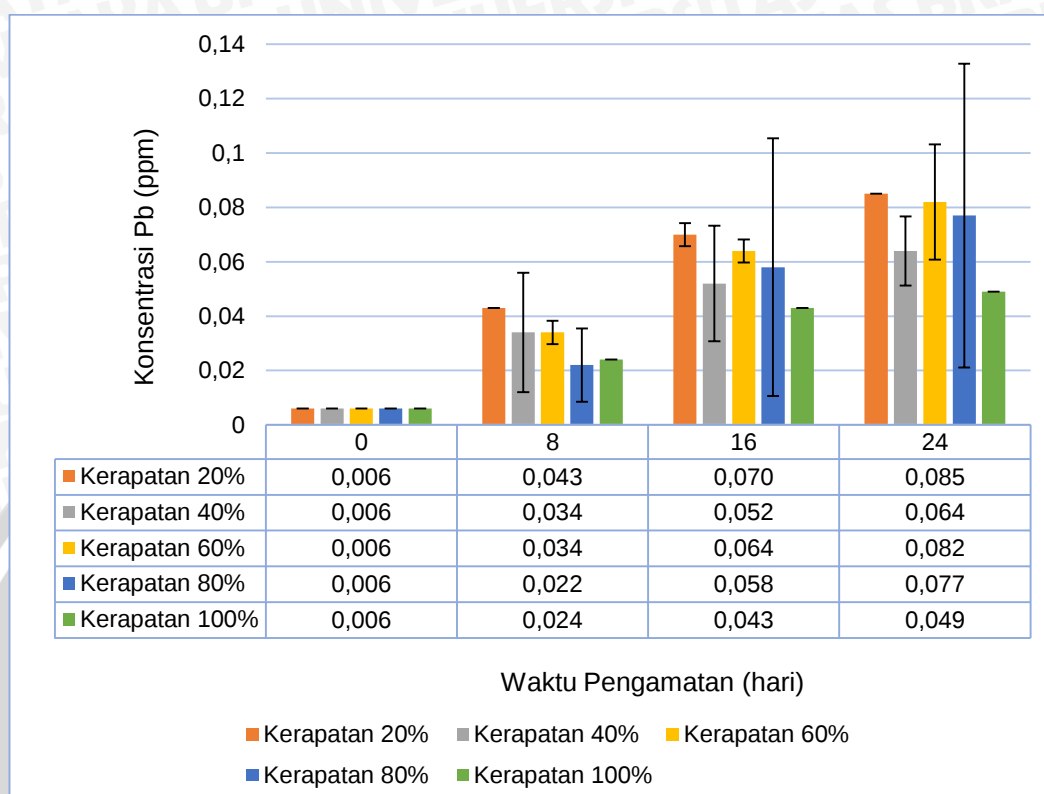
Kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. yang tertinggi terdapat pada kerapatan 40% dan 60% sebesar 0,159 ppm sedangkan konsentrasi Pb terendah terdapat pada kerapatan 100% sebesar 0,108 ppm. Jadi dapat disimpulkan bahwa kerapatan 40% dan 60% merupakan kerapatan yang optimal dalam mengakumulasi konsentrasi Pb dalam akar dengan waktu penyerapan 24 hari. Pada kerapatan 40% dan 60% ini konsentrasi Pb yang terakumulasi di akar lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan yang lain.

4.7 Kadar Timbal (Pb) pada Daun *Pistia stratiotes* L.

Secara umum kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mengakumulasi logam Pb yaitu pada bagian akar dan daunnya. Jika dibandingkan dengan konsentrasi Pb dalam akar, Pb dalam daun memiliki kadar yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena akar merupakan bagian tanaman yang bersinggungan langsung dengan air yang terkontaminasi (Aisyah, *et al.*, 2011) dan Pb dapat terakumulasi di daun melalui translokasi dari akar yang mengabsorpsi Pb dari limbah atau polutan yang tercemar. Fitter dan Hay (1991) menyatakan bahwa sel-sel pada tumbuhan memiliki kandungan konsentrasi ion yang paling tinggi yaitu terdapat pada akar, kemudian akar akan mentransfernya ke daun, batang dan bagian tumbuhan yang lain.

Kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. memiliki nilai yang berbeda-beda pada kerapatan yang berbeda pula (Lampiran 13). Kadar Pb dalam daun kayu apu ini menunjukkan nilai yang berbeda pada masing-masing kerapatannya, namun perbedaannya tidak begitu nyata. Berdasarkan analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada perlakuan kerapatan yaitu sebesar 0,280 (Lampiran 21). Karena probabilitas $> 0,05$, maka H_0 diterima, jadi dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang

nyata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. pada variasi kerapatan tanaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Histogram rerata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L.

Pada Gambar 13 terlihat jelas bahwa kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. antara kerapatan 0% (kontrol), kerapatan 20%, kerapatan 40%, kerapatan 60%, kerapatan 80% dan kerapatan 100% menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Perbedaan yang tidak signifikan ini disebabkan karena tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mengalami fase letal yang menyebabkan kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mengakumulasi Pb kurang optimal sehingga proses translokasi dari akar ke daun juga tidak optimal.

Kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar Pb dalam akar dan bertambahnya waktu pengamatan. Hal ini terlihat jelas bahwa kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. mulai hari ke-0 sampai hari ke-24 menunjukkan adanya peningkatan. Jika dilihat berdasarkan variasi

waktu, terlihat jelas bahwa kadar logam berat Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. pada hari ke-0, hari ke-8, hari ke-16 dan hari ke-24 memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis menggunakan GLM (*General Linear Model*) *Univariate* menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 16.0, diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas pada waktu pengamatan yaitu sebesar 0,000 (Lampiran 21). Karena probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang nyata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. pada tiap waktu pengamatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.

Pada masing-masing waktu pengamatan menunjukkan nilai kadar Pb yang berbeda secara signifikan. Hal ini dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD (*Least Significant Difference*), terlihat bahwa nilai probabilitas *Multiple Comparisons* dari tiap waktu pengamatan antara hari ke-0 dengan hari ke-8, hari ke-0 dengan hari ke-16, hari ke-0 dengan hari ke-24, hari ke-8 dengan hari ke-16, hari ke-8 dengan hari ke-24 adalah $< 0,05$ (Lampiran 21), maka terbukti bahwa kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. pada tiap waktu pengamatan memiliki perbedaan yang signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mampu mentranslokasikan Pb ke bagian daun pada setiap waktu pengamatan.

Rata-rata konsentrasi Pb hari ke-0 pada semua kerapatan menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 0,006 ppm. Pada hari ke-0 ini, belum ada logam berat yang diserap oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.). Kadar Pb pada hari ke-0 merupakan kadar Pb yang telah terkandung di dalam tanaman kayu apu itu sendiri. Diindikasikan Pb dalam tanaman ini berasal dari daerah persawahan yang terkontaminasi oleh Pb. Pb yang terdapat pada hari ke-0 merupakan hasil translokasi dari Pb yang terdapat di akar.

Kemudian pada hari ke-8 sampai hari ke-24, tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mentranslokasikan Pb dari akar ke daun. Hal ini terlihat dari

kadar Pb dalam daun yang merupakan hasil translokasi dari akar terus meningkat hingga hari ke-24. Pada hari ke-8 didapatkan rata-rata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. pada kerapatan 20% sebesar 0,043 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,034 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,034 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,022 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,024 ppm.

Pb pada hari ke-16 terus mengalami peningkatan, seperti pada kerapatan 20%, didapatkan rata-rata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. sebesar 0,070 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,052 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,064 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,058 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,043 ppm.

Selanjutnya pada hari ke-24, didapatkan rata-rata kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. sebesar 0,085 ppm, pada kerapatan 40% sebesar 0,064 ppm, pada kerapatan 60% sebesar 0,082 ppm, pada kerapatan 80% sebesar 0,077 ppm, dan pada kerapatan 100% sebesar 0,049 ppm.

Kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. yang tertinggi terdapat pada kerapatan 20% sebesar 0,085 ppm, sedangkan kadar Pb terendah terdapat pada kerapatan 100% sebesar 0,049 ppm. Kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mentranslokasikan Pb dari akar ke daun terdapat pada kerapatan 20%. Kerapatan 20% ini memiliki kadar Pb dalam daun yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan yang lain. Jadi dapat disimpulkan bahwa besarnya kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mengakumulasi logam berat Pb, tidak selalu sebanding dengan besarnya translokasi Pb dari akar ke daun. Hal ini dapat disebabkan karena pertumbuhan dari tanaman itu sendiri yang mulai terganggu hingga akhirnya mengalami fase letal sehingga menyebabkan proses translokasi tidak berjalan secara optimal.

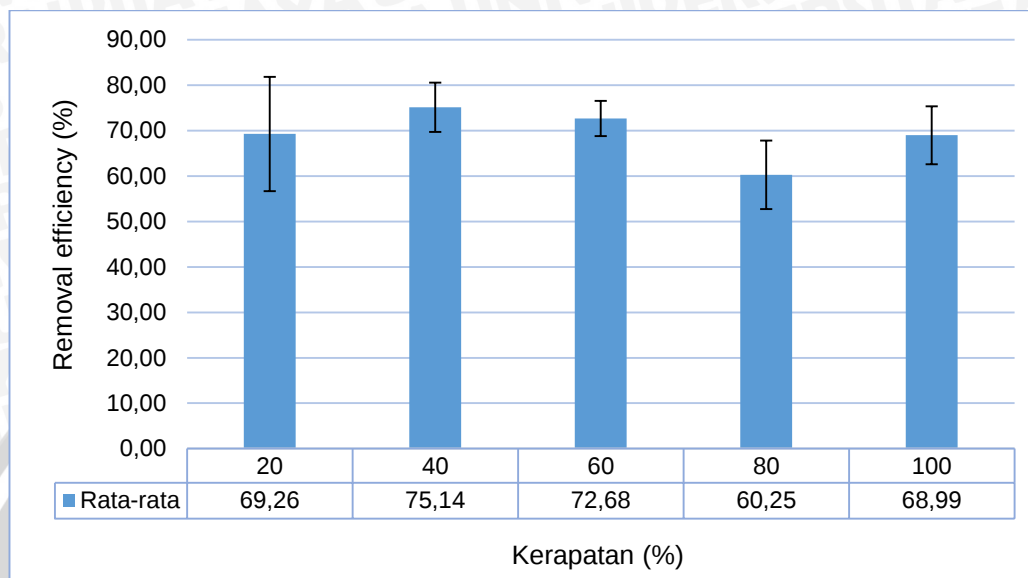
4.8 Kemampuan Penyerapan dan Akumulasi

Proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi dan lokalisasi. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*). Mekanisme penyerapan logam yakni melalui pembentukan zat khelat yang disebut *fitosidorofofor*. Molekul fitosidorofofor yang terbentuk akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xylem dan floem) ke bagian tanaman lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman dan mencegah keracunan logam dalam sel (Priyanto dan Prayitno, 2004). Adapun kemampuan penyerapan dan akumulasi oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dapat dijelaskan sebagai berikut:

4.8.1 Removal Efficiency (RE)

Kemampuan penyerapan dan akumulasi logam oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) juga dapat digambarkan oleh *removal efficiency* (RE). *Removal efficiency* ini didapatkan dari jumlah konsentrasi awal logam dalam limbah dan konsentrasi akhir logam dalam limbah kemudian dibagi dengan konsentrasi awal logam dalam limbah. Menurut Indrasti, *et al.* (2012), perhitungan *removal efficiency* dalam penelitian ini didasarkan pada penurunan konsentrasi logam dalam limbah (mg/l) selama 24 hari perlakuan. Hasil perhitungan *removal efficiency* dapat dilihat pada Lampiran 14. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai

removal efficiency yang berbeda-beda pada kerapatan yang berbeda pula. Untuk melihat lebih jelas perbedaan rata-rata *removal efficiency* dari masing-masing kerapatan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Histogram rerata *removal efficiency* logam Pb pada kerapatan yang berbeda

Pada Gambar 14 menunjukkan bahwa dengan kerapatan yang berbeda akan menghasilkan nilai yang efisiensi penyerapan yang berbeda juga. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan dalam beradaptasi pada lingkungan tercemar oleh logam berat dan kemampuan dalam mengakumulasi logam berat tidak dimiliki oleh semua tumbuhan. Nopriani (2011) menyatakan bahwa beberapa tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat juga memiliki kemampuan yang berbeda-beda. Besarnya kemampuan suatu tumbuhan dalam menyerap logam berat tersebut dapat diketahui dengan mengukur efisiensi serapan logam.

Dari hasil perhitungan diperoleh rata-rata nilai *removal efficiency* pada kerapatan 20% sebesar 69,26%, kemudian pada kerapatan 40% diperoleh nilai rata-rata *removal efficiency* sebesar 75,14%, lalu rata-rata nilai *removal efficiency* pada kerapatan 60% sebesar 72,68%, dan pada kerapatan 80% didapatkan rata-

rata nilai *removal efficiency* sebesar 60,25% serta pada kerapatan 100% diperoleh nilai rata-rata *removal efficiency* sebesar 68,99%.

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa hasil *removal efficiency* tidak mencapai 100%. Hal ini diindikasikan karena adanya ion logam lain seperti logam Cu (hasil uji pendahuluan) sehingga menyebabkan terjadinya kompetisi selama penyerapan oleh tanaman kayu apu yang mengakibatkan sisi aktif dari biosorben telah terisi oleh ion logam lain (Isnaini, *et al.*, 2013). Selain itu, faktor fisiologis tanaman juga mempengaruhi serapan Pb oleh tanaman (Haryanti, *et al.*, 2013). Jadi, tanaman harus dalam kondisi yang baik untuk dapat menyerap Pb secara optimal sehingga Pb yang terakumulasi di dalam tanaman juga tinggi.

Rata-rata nilai *removal efficiency* yang tertinggi terdapat pada kerapatan 40% yaitu sebesar 75,14% dan rata-rata nilai *removal efficiency* yang terendah terdapat pada kerapatan 80% yaitu sebesar 60,25%. Tingginya efisiensi penyerapan logam Pb oleh tanaman dipengaruhi oleh akar tanaman. Hal ini dikarenakan tanaman tersebut memiliki akar volume perakaran yang banyak (Isnaini, *et al.*, 2013), sehingga akar tanaman kayu apu ini mampu menyebar keseluruhan bagian yang telah terkontaminasi logam Pb. Logam berat diserap oleh akar tanaman dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air (Aprilia dan Purwani, 2013). Lingkungan yang banyak mengandung logam Pb, membuat protein regulator dalam tanaman tersebut membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Fitokhelatin dibentuk di dalam nukleus yang kemudian melewati retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Bila bertemu dengan logam Pb serta logam berat lainnya fitokhelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga logam Pb dan logam berat lainnya akan terbawa menuju jaringan tanaman. Gangguan dapat terjadi pada jaringan epidermis, sponsa dan

palisade. Kerusakan tersebut dapat ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tanaman (Haryanti, *et al.*, 2012).

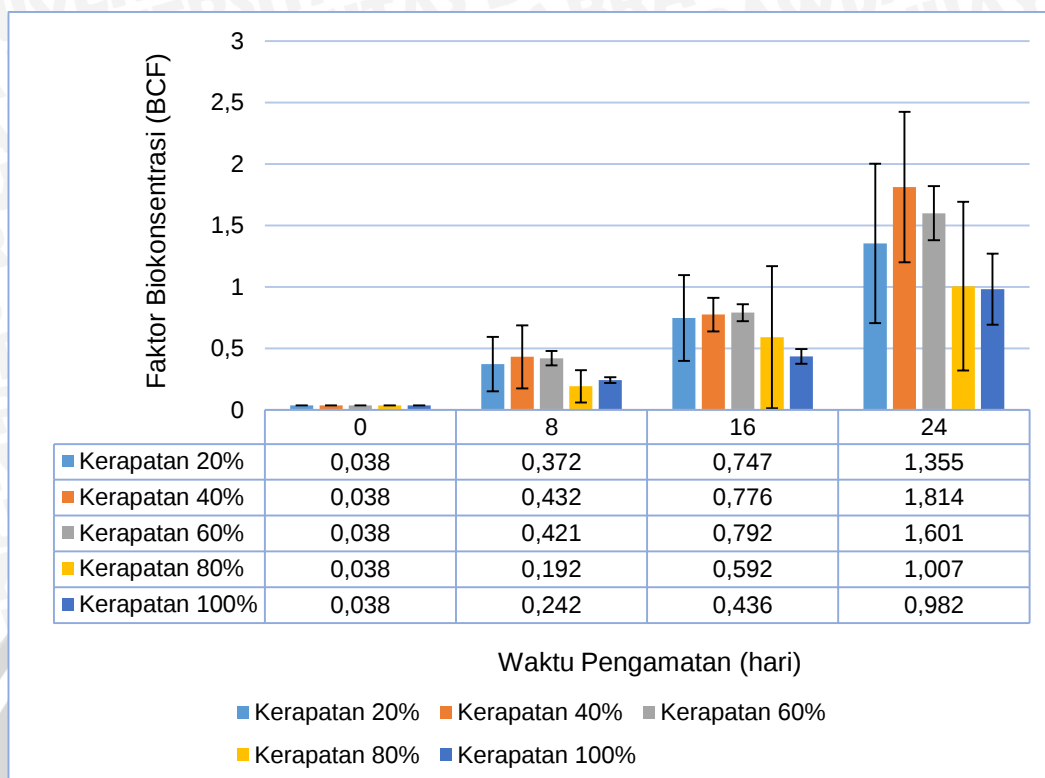
Tingginya nilai rata-rata *removal efficiency* menunjukkan kemampuan tanaman yang baik dalam mengakumulasi logam berat yang terdapat dalam limbah seperti pada kerapatan 40%. Kerapatan ini merupakan kerapatan yang optimal dalam mengakumulasi Pb. Hal terlihat dari nilai *removal efficiency* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Tingginya nilai *removal efficiency* ini menunjukkan bahwa kebutuhan nutrisi dan bahan organik tanaman di dalam limbah tercukupi sehingga tanaman mampu mengakumulasi Pb secara optimal di dalam tubuhnya. Sedangkan pada kerapatan tanaman yang rendah seperti pada kerapatan 20%, rata-rata nilai *removal efficiency*-nya juga rendah. Hal ini dikarenakan tanaman dengan kerapatan dalam jumlah yang sedikit atau dapat dikatakan kurang rapat seperti pada kerapatan 20% menunjukkan akumulasi Pb yang kurang optimal. Semakin rendah tingkat kerapatan tanaman, kemampuan dalam mengakumulasi Pb juga tidak akan maksimal.

Namun pada kerapatan yang terlalu tinggi seperti pada kerapatan 60% sampai dengan 100%, kemampuan tanaman dalam mengakumulasi Pb juga kurang optimal. Hal ini dikarenakan tingginya kerapatan tanaman dalam limbah tersebut menyebabkan tingginya tingkat persaingan dalam memanfaatkan nutrisi sehingga kebutuhan nutrisi dalam limbah tidak tercukupi. Dalam hal ini, nutrisi merupakan faktor penting untuk pertumbuhan tanaman karena nutrisi digunakan untuk menyuplai unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman (Purwaningsih, 2009). Nutrisi yang sangat penting bagi tanaman adalah unsur N (nitrogen), P (pospor) dan K (kalium). Nitrogen berperan dalam pembentukan sel, jaringan, dan organ tanaman. Nitrogen juga berfungsi sebagai bahan sintesis klorofil, protein, dan asam amino serta sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman (Reddy, *et al.*, 1989). Pospor berperan pada pertumbuhan benih, akar,

bunga, dan buah. Sedangkan kalium berperan sebagai pengatur proses fisiologi tanaman seperti fotosintesis, akumulasi, translokasi, transportasi karbohidrat, membuka menutupnya stomata (mengatur distribusi air dalam jaringan dan sel) serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap penyakit (Purwaningsih, 2009). Apabila nutrisi tidak tercukupi maka akan berdampak pada pertumbuhan dan apabila pertumbuhan terganggu maka akan berdampak pada berkurangnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi Pb di dalam tubuhnya.

4.8.2 Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Tumbuhan dari berbagai famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang tinggi pada jaringan akar dan daunnya sehingga bersifat hiperakumulator (Hardiani, 2009). Adapun karakteristik untuk tumbuhan hiperakumulator diantaranya: 1) tahan terhadap logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan daunnya, 2) tingkat laju penyerapan logam dari air yang lebih tinggi dibanding tanaman lain, dan 3) memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi logam dari akar ke daun dengan laju yang tinggi (Hidayati, 2013). Untuk menilai kemampuan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mengakumulasi logam berat Pb ke dalam jaringan akarnya dapat diketahui melalui nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF) yang dapat dilihat pada Gambar 15. Dalam hal ini, BCF akar dihitung berdasarkan perbandingan antara kandungan logam berat Pb dalam akar dan kandungan logam berat Pb dalam air limbah pada hari ke-0 sampai hari ke-24. Hasil perhitungan faktor biokonsetrasi (BCF) Pb dari air limbah ke akar *Pistia stratiotes* L. ini dapat dilihat pada Lampiran 15.



Gambar 15. Histogram rerata faktor biokonsentrasi (BCF) Pb dari air ke akar *Pistia stratiotes* L.

Pada Gambar 15, terlihat jelas bahwa pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-24, nilai BCF mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan yang menunjukkan bahwa tanaman kayu apu mampu mengakumulasi Pb ke dalam jaringan akarnya dengan baik. Tingginya nilai BCF akar didukung oleh tingginya kadar logam Pb dalam akar dan kadar Pb yang rendah dalam air limbah sehingga menghasilkan nilai BCF akar yang tinggi. Rata-rata nilai BCF akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada semua kerapatan mulai hari ke-0 sampai dengan hari ke-24 berkisar antara 0,038 – 1,814. Rata-rata nilai BCF akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang tertinggi terdapat pada hari ke-24 dengan kerapatan 40% yaitu sebesar 1,814. Hal ini terbukti dari berkurangnya kadar Pb yang paling banyak dalam air limbah yaitu pada kerapatan 40%. Sedangkan rata-rata nilai BCF akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang

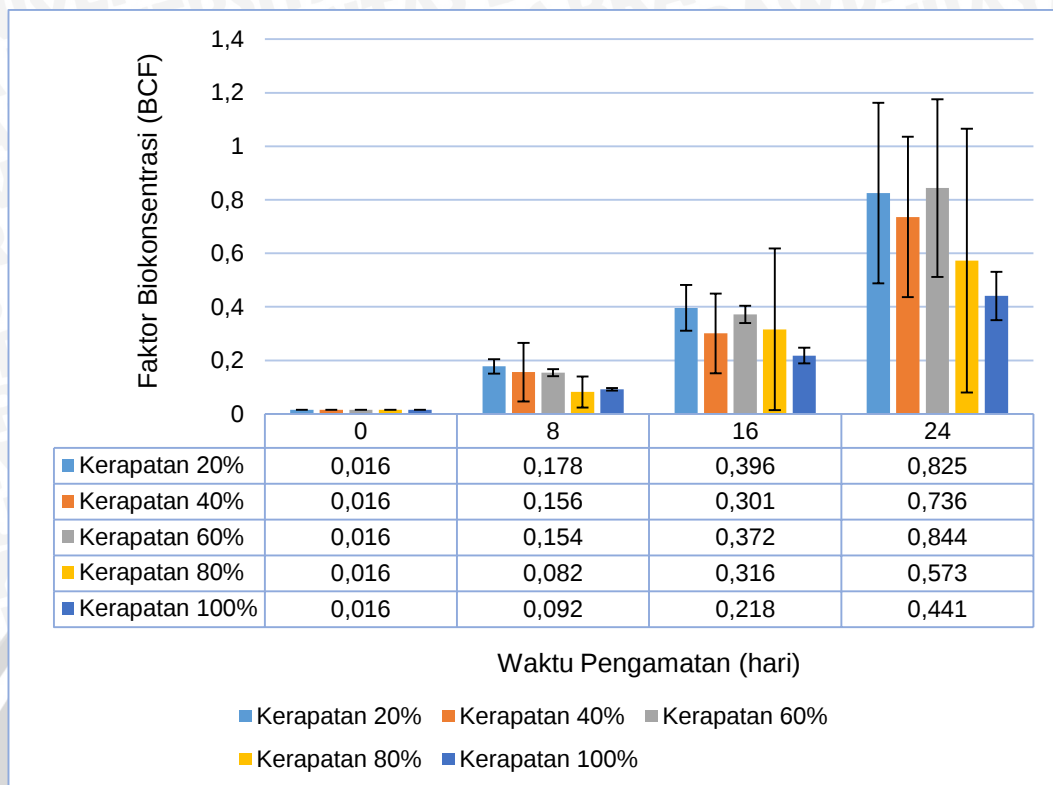
terendah terdapat pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan 100% yaitu sebesar 0,038.

Untuk melakukan analisis faktor biokonsentrasi (BCF) dapat dilakukan dengan membandingkan kadar Pb dalam akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dan kadar Pb dalam air limbah. Kadar Pb pada tanaman yang digunakan merupakan kadar Pb yang tertinggi atau maksimal (Novandi, *et al.*, 2014), yaitu pada hari ke-24. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh rata-rata nilai BCF akar *Pistia stratiotes* L. pada hari ke-24 berkisar antara 0,982 – 1,814. Nilai tersebut berada pada rentang 1 – 10 (Malayeri, *et al.*, 2008) yang menunjukkan bahwa tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) termasuk dalam tanaman bersifat hiperakumulator (akumulator tinggi) dalam penyerapan logam berat Pb. Hal ini sesuai dengan pendapat Mamonto (2013), yang menyatakan bahwa kayu apu terdiri dari perakaran yang banyak dengan rambut akar yang halus, yang dapat menjadi salah satu syarat untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator. Hiperakumulator adalah kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengkonsentrasikan logam berat dalam biomasnya dalam kadar yang tinggi tanpa membahayakan kehidupan tanaman tersebut (Moenir, 2010).

Sebagai tumbuhan hiperakumulator, tanaman kayu apu berpotensi sebagai fitoremediator. Hal ini dibuktikan melalui beberapa penelitian yang pernah dilakukan diantaranya oleh Fachrurrozi, *et al.* (2010) yang menyatakan bahwa kayu apu mampu menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tahu. Hasil penelitian dari Hermawati, *et al.* (2005) juga menunjukkan bahwa tanaman kayu apu mampu menurunkan tingkat pencemaran dari limbah detergen yang ditunjukkan dengan menurunnya parameter kualitas air seperti suhu, sulfat dan fosfat. Hal ini juga didukung oleh penelitian Mustaniroh, *et al.* (2009), yang menyatakan bahwa tumbuhan kayu apu sebagai biofilter pada limbah cair penyamakan kulit mampu menurunkan nilai pH, BOD, TSS, Cr (Chromium) dan

mampu menaikkan DO. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Mamonto (2013) juga menunjukkan bahwa kayu apu juga dapat menurunkan kadar Sianida (CN) pada limbah cair penambangan emas. Berdasarkan penelitian Ulfin dan Widya (2005), kayu apu mampu menyerap konsentrasi kromium dengan metode regenerasi. Hasil penelitian dari Suryati dan Priyanto (2003) menunjukkan bahwa tanaman kayu apu mampu menurunkan konsentrasi Cd sampai waktu pemaparan 10 hari. Nurhayati, *et al.* (2012) juga memperjelas bahwa tanaman kayu apu dapat digunakan sebagai penyerap fitoekstraksi logam berat Zn yang ramah lingkungan.

Pada umumnya logam berat di tempatkan dalam akar dan daun (Memon, *et al.*, 2001). Kayu apu juga menempatkan logam berat Pb pada bagian akar dan daunnya. Untuk mengetahui kemampuan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mengakumulasi logam berat Pb ke dalam jaringan daunnya dapat diketahui melalui nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF) yang dapat dilihat pada Gambar 16. BCF daun dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara kandungan logam berat Pb di daun dan kandungan logam berat Pb di air limbah pada hari ke-0 sampai hari ke-24. Hasil perhitungan faktor biokonsetrasi (BCF) Pb dari air limbah ke daun *Pistia stratiotes* L. ini dapat dilihat pada Lampiran 15.



Gambar 16. Histogram rerata faktor biokonsentrasi (BCF) Pb dari air ke daun *Pistia stratiotes* L.

Pada Gambar 16, terlihat jelas bahwa pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-24, nilai BCF mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan yang menunjukkan bahwa tanaman kayu apu mampu mengakumulasi Pb ke dalam jaringan daun meskipun nilainya tidak begitu tinggi. Rendahnya nilai BCF daun didukung oleh rendahnya kadar logam Pb dalam daun dan rendahnya kadar Pb dalam air limbah sehingga menghasilkan nilai BCF daun yang rendah. Rata-rata nilai BCF daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada semua kerapatan mulai hari ke-0 sampai dengan hari ke-24 berkisar antara 0,016 – 0,844. Rata-rata nilai BCF daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang tertinggi terdapat pada hari ke-24 dengan kerapatan 60% yaitu sebesar 0,844. Sedangkan rata-rata nilai BCF daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) yang terendah

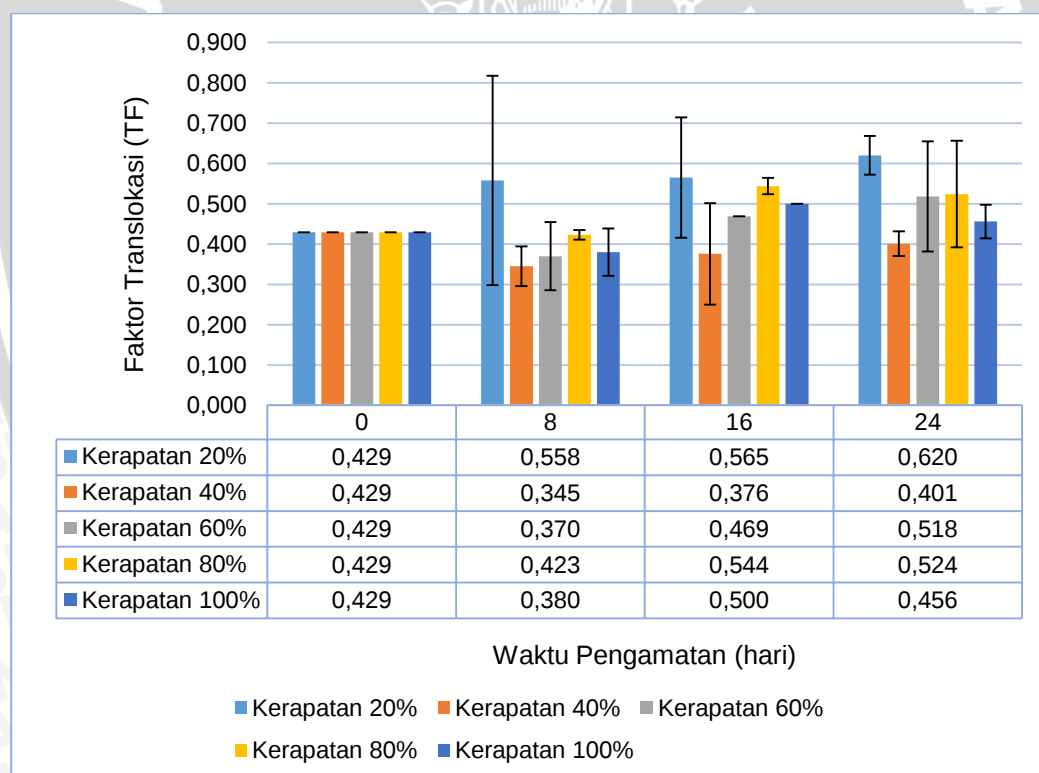
terdapat pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan 100% yaitu sebesar 0,016.

BCF daun menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada BCF akar. Hal ini disebabkan karena pada BCF akar memiliki kadar Pb yang tinggi dalam akar dan kadar Pb yang rendah dalam air limbah, sedangkan BCF daun memiliki kadar Pb yang rendah pada daun dan pada air limbah. Nilai faktor biokonsentrasi (BCF) tersebut membuktikan bahwa *Pistia stratiotes* L. cenderung untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat terutama pada akar yang menunjukkan bahwa tanaman kayu apu ini memiliki sifat akumulator logam Pb yang tinggi. Keadaan ini juga menunjukkan bahwa kemampuan tanaman kayu apu yang tinggi dalam mengakumulasi Pb, tetapi rendah dalam mentranslokasikan ke akar. Menurut Yoon, *et al.* (2006), terkadang akar juga mempunyai sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial (Pb), sehingga ada penumpukkan logam di akar.

4.8.3 Faktor Translokasi (TF)

Akar merupakan bagian tanaman yang bersinggungan langsung dengan air yang terkontaminasi (Aisyah, *et al.*, 2011). Pada umumnya kandungan logam berat dalam bagian tanaman semakin berkurang sesuai urutan sebagai berikut akar> batang> daun> buah> biji (Blum, 1997 *dalam* Liong, 2010). Translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain dilakukan setelah logam berat masuk di dalam akar tanaman untuk selanjutnya didistribusikan ke bagian-bagian tanaman yang lain (batang dan daun) melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem). Kemampuan pengangkutan dalam tanaman dapat ditingkatkan dengan bantuan zat khelat. Beberapa zat khelat yang dapat mengikat logam berat adalah phytochelatin, histidin dan glutanon (Mc. Grath, 1999).

Penghitungan nilai faktor translokasi (*translocation factor* atau TF) dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman untuk mentranslokasi logam dari akar ke daun. Translokasi logam berat dari akar ke daun menunjukkan proses perpindahan dan distribusi logam ke jaringan tumbuhan lainnya (Hamzah dan Pancawati, 2013). Nilai faktor translokasi didapatkan dari perbandingan antara kadar Pb dalam daun dan kadar Pb dalam akar. Hasil perhitungan faktor translokasi (TF) Pb dari akar ke daun *Pistia stratiotes* L. dapat dilihat pada Lampiran 16. Menurut Puspita, *et al.* (2013), faktor translokasi (TF) ini dapat digunakan untuk menduga tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai fitoremediator. Kemampuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam mentranslokasikan logam berat Pb dari akar ke daun dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Histogram rerata faktor translokasi (TF) Pb dari akar ke daun *Pistia stratiotes* L.

Pada Gambar 17, nilai TF dari akar ke daun menunjukkan nilai yang bervariasi. Terlihat jelas bahwa pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-24, nilai TF pada kerapatan 20%, 40% dan 60% mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan. Namun pada kerapatan 80% dan 100%, nilai TF mengalami penurunan pada hari terakhir yaitu pada hari ke-24. Penurunan nilai TF ini disebabkan karena tanaman pada kerapatan yang tinggi seperti pada kerapatan 80% dan 100% akan berdampak pada kurang optimalnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi dan mentranslokasikan Pb. Hal ini dikarenakan tingginya zat toksik di dalam tubuh tanaman pada hari ke-24 yang menyebabkan tanaman membutuhkan nutrisi untuk proses pertumbuhannya. Namun tingginya kerapatan tanaman dalam limbah tersebut menyebabkan tingginya tingkat persaingan dalam memanfaatkan nutrisi sehingga kebutuhan nutrisi dalam limbah tidak tercukupi. Dalam hal ini, nutrisi merupakan faktor penting untuk pertumbuhan tanaman karena nutrisi digunakan untuk menyuplai unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman (Purwaningsih, 2009). Jadi dapat disimpulkan bahwa kebutuhan nutrisi pada hari ke-24 kurang tercukupi sehingga menyebabkan rendahnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi Pb yang selanjutnya akan berdampak pada berkurangnya kemampuan akar dalam mentranslokasikan Pb ke daun.

Rata-rata nilai faktor translokasi (TF) Pb pada semua kerapatan mulai hari ke-0 sampai dengan hari ke-24 berkisar antara 0,429 – 0,620. Rata-rata nilai faktor translokasi (TF) Pb yang tertinggi terdapat pada hari ke-24 dengan kerapatan 20% yaitu sebesar 0,620. Sedangkan rata-rata nilai faktor translokasi (TF) Pb yang terendah terdapat pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% yaitu sebesar 0,429. Rendahnya nilai TF pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% dikarenakan Pb dalam air limbah belum diakumulasi oleh tanaman sehingga belum ada Pb yang

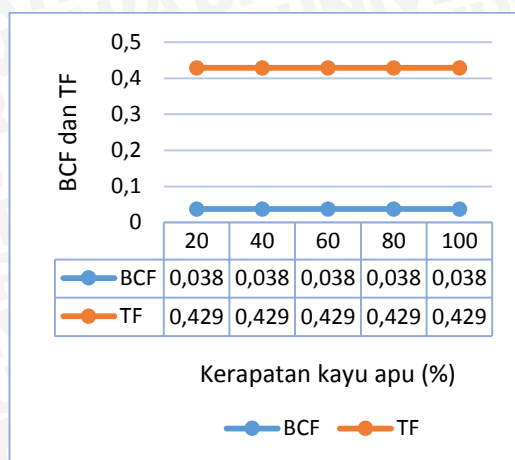
ditranslokasikan ke akar. Kadar Pb yang telah terkandung di dalam tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) merupakan kadar Pb dalam tanaman itu sendiri. Diindikasikan Pb dalam tanaman ini berasal dari daerah persawahan yang terkontaminasi oleh Pb. Pb yang terdapat pada daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) hari ke-0 merupakan hasil translokasi Pb yang terdapat di akar saat di lapang (sebelum dilakukan penelitian).

Untuk melakukan analisis faktor translokasi (TF) dapat dilakukan dengan membandingkan kadar Pb dalam daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dan kadar Pb dalam akar. Kadar Pb pada tanaman yang digunakan merupakan kadar Pb yang tertinggi atau maksimal (Novandi, *et al.*, 2014), yaitu pada hari ke-24. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh rata-rata nilai faktor translokasi (TF) Pb pada hari ke-24 berkisar antara 0,401 – 0,620. Nilai tersebut menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada 1 (<1) (Haque, *et al.*, 2008) sehingga mekanisme atau proses yang terjadi pada tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam menyerap logam Pb adalah fitostabilisasi. Fitostabilisasi adalah pemanfaatan tumbuhan untuk mengurangi polutan dalam lingkungan (Rossiana, *et al.*, 2007).

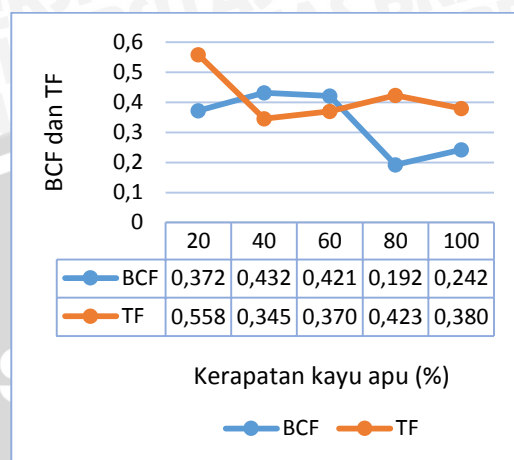
4.8.4 Perbandingan antara nilai BCF dan TF

Perbandingan antara nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF) digunakan untuk menduga tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai fitoremediator (Puspita, *et al.*, 2013). Nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan nilai faktor translokasi (TF) yang saling berkaitan dapat dijadikan indikator untuk membedakan mekanisme yang digunakan oleh tanaman (Sopyan, *et al.*, 2014). Mekanisme toleransi ataupun akumulasi logam berat pada beberapa tanaman melibatkan proses pengikatan logam berat potensial pada dinding sel akar atau daun, atau menyimpannya di dalam vakuola sel (Memon, *et al.*, 2001). Untuk mengetahui perbandingan nilai BCF dan TF dengan kerapatan 20% sampai

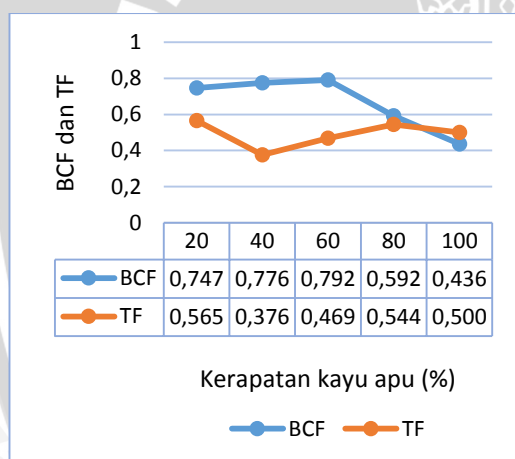
dengan kerapatan 100% mulai hari ke-0 sampai dengan hari ke-24 dapat dilihat grafik yang disajikan pada Gambar 18, Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21.



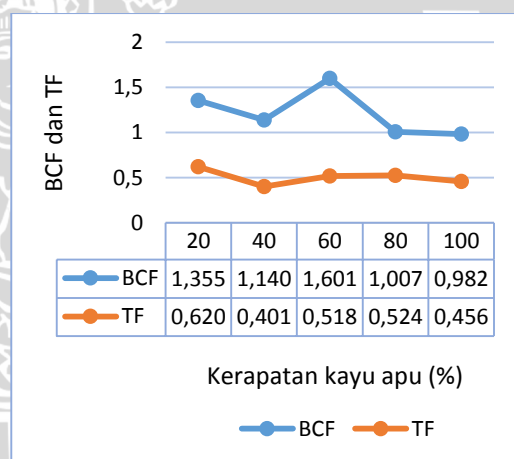
Gambar 18. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-0



Gambar 19. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-8



Gambar 20. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-16



Gambar 21. Perbandingan nilai BCF dan TF pada hari ke-24

Pada Gambar 18, nilai BCF pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 0,038. Sedangkan nilai TF pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% menunjukkan nilai sebesar 0,429. Grafik yang disajikan pada Gambar 18 berbentuk garis lurus yang menunjukkan bahwa belum adanya proses akumulasi dan translokasi Pb dalam air limbah oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada hari ke-0.

Kemudian pada Gambar 19, membuktikan bahwa tanaman kayu apu mulai mengakumulasi dan mentranslokasikan Pb ke dalam tubuhnya. Hal ini terlihat dari perbandingan antara nilai BCF dan TF pada hari ke-8 menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada kerapatan 20%, 80% dan 100% didapatkan nilai BCF yang lebih besar dari nilai TF. Sedangkan pada kerapatan 40% dan 60% didapatkan nilai TF yang lebih besar dari nilai BCF. Nilai BCF pada kerapatan 20% sampai dengan 100% berkisar antara 0,192 – 0,432. Sedangkan nilai TF pada kerapatan 20% sampai dengan 100% berkisar antara 0,401 – 0,620. Pada hari ke-8 ini didapatkan nilai BCF tertinggi terdapat pada kerapatan 40% yaitu sebesar 0,432 dan nilai TF tertinggi terdapat pada kerapatan 20% yaitu sebesar 0,558.

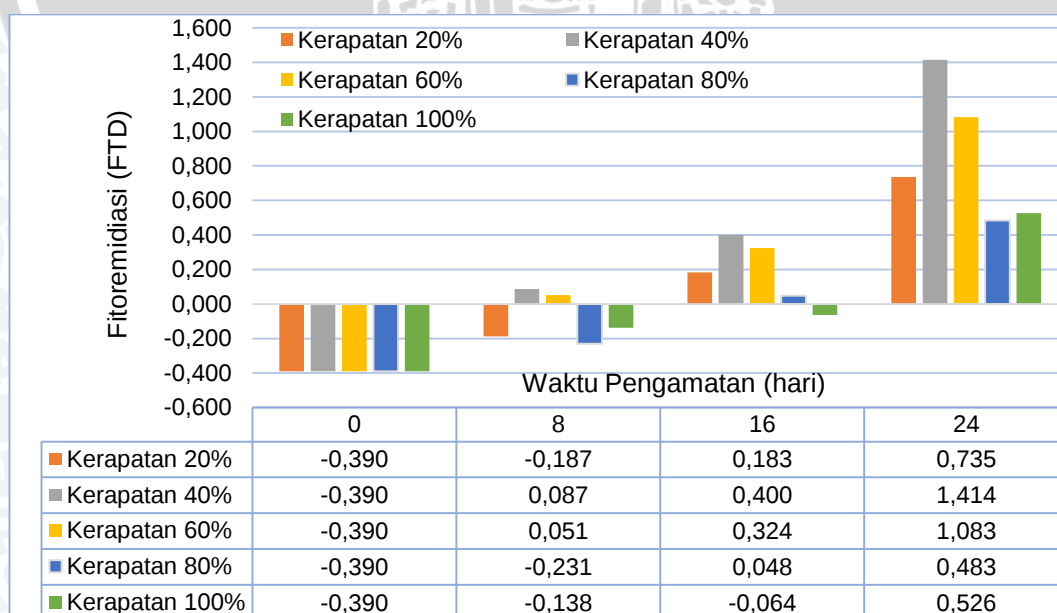
Lalu pada grafik yang disajikan pada Gambar 20, didapatkan nilai BCF dan TF pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan yaitu pada hari ke-16. Nilai BCF pada kerapatan 20% sampai dengan 100% berkisar antara 0,436 – 0,792. Sedangkan nilai TF pada kerapatan 20% sampai dengan 100% berkisar antara 0,376 – 0,565. Nilai BCF pada kerapatan 20% 40%, 60% dan 80% memiliki nilai yang lebih besar dari nilai TF. Sedangkan pada kerapatan 100% menunjukkan nilai TF yang lebih besar dari nilai BCF. Pada hari ke-16 ini didapatkan nilai BCF tertinggi terdapat pada kerapatan 60% yaitu sebesar 0,792 dan nilai TF tertinggi terdapat pada kerapatan 20% yaitu sebesar 0,565.

Pada hari terakhir yaitu pada hari ke-24, nilai BCF dan TF menunjukkan nilai yang berbeda pada semua kerapatan yang dapat dilihat pada Gambar 21. Nilai BCF tertinggi terdapat pada kerapatan 60% yaitu sebesar 1,601 dan nilai TF tertinggi terdapat pada kerapatan 20% yaitu sebesar 0,518. Tingginya nilai BCF dan TF ini menunjukkan adanya akumulasi dan translokasi yang optimal oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.). Nilai BCF pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% mengalami peningkatan dari hari sebelumnya yaitu

berkisar antara 0,982 – 1,601 sedangkan nilai TF pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% berkisar antara 0,401 – 0,620. Nilai BCF pada penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih dari 1 (>1) sedangkan nilai TF menunjukkan nilai (<1). Hal ini sesuai dengan pendapat Liong (2010) yang menyatakan bahwa nilai $BCF > 1$ dan $TF < 1$, disebut mekanisme fitostabilisasi. Yoon, *et al.* (2006) juga menyatakan bahwa umumnya nilai $BCF > 1$ dan nilai $TF < 1$. Nilai BCF berbanding terbalik dengan TF, menunjukkan bahwa tanaman mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi logam berat timbal (Pb), namun kemampuan untuk mentranslokasi logam masih rendah.

4.8.5 Fitoremediasi (FTD)

Fitoremediasi merupakan salah satu solusi untuk mengurangi kandungan polutan di daerah yang terkontaminasi dengan menggunakan tumbuhan sebagai sarana dengan tujuan mengurangi tingkat pergerakan logam berat pada limbah (Ma, *et al.*, 2001 dalam Puspita, *et al.*, 2013). Fitoremediasi (FTD) didapatkan dari perhitungan yaitu selisih antara nilai BCF dan nilai TF. Nilai fitoremediasi pada akar dan daun *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Histogram rerata fitoremediasi oleh tanaman *Pistia stratiotes* L.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai FTD (Lampiran 17), didapatkan hasil bahwa nilai FTD meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pengamatan. Pada Gambar 22 nilai minus (-) yang didapatkan pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100%, pada hari ke-8 dengan kerapatan 20%, 80% dan 100% dan pada hari ke-16 dengan kerapatan 100% menunjukkan bahwa nilai BCF lebih kecil daripada nilai TF yang menandakan bahwa kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan Pb dari akar ke daun lebih tinggi daripada kemampuan tanaman dalam mengakumulasi Pb dari air limbah ke akar.

Nilai FTD tertinggi terdapat pada hari ke-24 dengan kerapatan 40% yaitu sebesar 1,414. Nilai fitoremediasi (FTD) yang tinggi digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan didalam limbah karena efektivitas akumulasi logam terjadi pada akar. Proses ini menggunakan kemampuan akar tanaman kayu apu untuk mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan (Susarla, *et al.*, 2002).

Sementara FTD terendah terdapat pada hari ke-0 dengan kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% yaitu sebesar -0,390. Rendahnya nilai FTD menunjukkan tingkat efektifitas biokonsentrasi logam Pb oleh akar dan translokasi Pb dari akar ke daun yang berimbang (Puspita, *et al.*, 2013).

Nilai FTD hari ke-24, menunjukkan nilai FTD yang berkisar antara 0,483 – 1,414. Nilai FTD ini merupakan nilai yang maksimal karena nilai $BCF > TF$ pada hari ke-24. Hal ini sesuai dengan pendapat Yoon, *et al.* (2006) yang menyatakan bahwa FTD akan maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah. Hal ini terbukti dari nilai BCF dan TF pada hari terakhir mulai kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% memiliki nilai BCF yang lebih tinggi daripada nilai TF.

4.9 Analisis Parameter Kualitas Air

Kualitas air merupakan suatu kondisi dimana baik buruknya suatu perairan dapat terlihat dari karakteristik fisik, kimiawi dan biologis. Pengukuran parameter kualitas air ini bertujuan untuk mengetahui kondisi media air yang menjadi habitat kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) selama penelitian. Adapun parameter kualitas air yang diukur dalam penelitian ini diantaranya suhu, derajat keasaman (pH/Poisoning of Hydrogen), dan oksigen terlarut (DO/Dissolved Oxygen). Hasil pengukuran parameter kualitas air dapat dilihat pada Tabel 3 dan untuk data hasil yang lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 18.

Tabel 3. Data hasil pengukuran kualitas air

Parameter	Perlakuan Kerapatan	Waktu Pengamatan (hari)				Standar
		0	8	16	24	
Suhu (°C)	Kerapatan 0% (kontrol)	31,1	34,9	32,9	32,5	22–30 *
	Kerapatan 20%	31,1	34,8	32,8	32,4	
	Kerapatan 40%	31,1	34,7	32,8	31,9	
	Kerapatan 60%	31,1	34,7	32,8	31,8	
	Kerapatan 80%	31,1	34,6	32,8	31,7	
	Kerapatan 100%	31,1	34,6	32,6	31,6	
pH	Kerapatan 0% (kontrol)	10,1	10	10	10	6–9 **
	Kerapatan 20%	10,1	9,1	9,1	8	
	Kerapatan 40%	10,1	9,1	9	8	
	Kerapatan 60%	10,1	9	8,9	8	
	Kerapatan 80%	10,1	9	9	8	
	Kerapatan 100%	10,1	9	9	8	
DO (mg/l)	Kerapatan 0% (kontrol)	1,2	2,05	3,05	1,6	≥5 ***
	Kerapatan 20%	1,2	2,35	3,35	1,7	
	Kerapatan 40%	1,2	2,45	3,45	1,9	
	Kerapatan 60%	1,2	2,75	3,9	2	
	Kerapatan 80%	1,2	3	4,5	2,4	
	Kerapatan 100%	1,2	3,15	4,6	2,8	

Keterangan:

- * Department of Primary Industries (2006)
- ** Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah
- *** Effendi (2003)

4.9.1 Suhu

Berdasarkan data hasil pengukuran kualitas air pada Tabel 3 didapatkan nilai suhu yang bervariasi pada setiap waktu pengamatan. Rata-rata nilai suhu tertinggi terdapat pada hari ke-8 yaitu sebesar 34,9 °C dengan kerapatan 0% (kontrol) dan rata-rata nilai suhu terendah terdapat pada hari ke-0 sebesar 31,1 °C dengan kerapatan 0% sampai kerapatan 100%. Rata-rata nilai suhu pada semua kerapatan sebesar 31,1 °C – 34,9 °C. Kisaran ini merupakan kisaran suhu yang dapat ditolerir oleh tanaman kayu apu namun kisaran tersebut bukan kisaran optimum untuk pertumbuhan tanaman kayu apu. Hal ini sesuai dengan pendapat Department of Primary Industries (2006) yang menyatakan bahwa tanaman kayu apu tumbuh dengan sangat baik pada perairan tawar dan akan mentolerir suhu antara 15 °C dan 35 °C, namun suhu optimum untuk rentang pertumbuhan antara 22 °C dan 30 °C. Suhu pada semua bak percobaan relatif homogen, hal ini dikarenakan kedalaman bak-bak percobaan yang digunakan untuk penelitian sangat dangkal sehingga penyebaran suhunya relatif homogen atau seragam.

Rata-rata nilai suhu pada semua kerapatan mengalami peningkatan pada hari ke-8. Fluktuasi dan peningkatan suhu air akan dapat mempengaruhi kondisi biota perairan yang terbiasa hidup pada suhu alami. Biota air yang cukup penting keberadaannya dalam ekosistem perairan adalah plankton, terutama fitoplankton yang merupakan produsen primer dalam rantai makanan (Handayani, *et al.*, 2012). Kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20 °C – 30 °C (Effendi, 2003). Namun suhu pada hari ke-8 berkisar antara 34,6 °C – 34,9 °C yang menunjukkan bahwa suhu pada hari ke-8 melebihi batas optimum untuk pertumbuhan fitoplankton yang akan berdampak pada terganggunya kehidupan fitoplankton. Pada saat kehidupan fitoplankton terganggu dan menimbulkan kematian karena peningkatan suhu yang diikuti oleh penurunan oksigen terlarut dalam air, maka biota

dengan tingkat trofik dalam rantai makanan yang lebih tinggi akan mengalami gangguan pula (Handayani, *et al.*, 2012).

Sedangkan suhu mengalami penurunan pada hari ke-16 hingga hari ke-24. Rata-rata nilai suhu pada hari ke-16 berkisar antara 32,6 °C – 32,9 °C. Sedangkan rata-rata nilai suhu pada hari ke-24 berkisar antara 31,6 °C – 32,5 °C. Menurut Hartanti, *et al.* (2014), perubahan suhu disebabkan perubahan cuaca yang terjadi selama penelitian. Menurunnya nilai suhu pada hari ke-16 dan ke-24 ini disebabkan karena kondisi cuaca yang kurang mendukung yaitu mendung.

Fluktuasi suhu yang terjadi selama penelitian disebabkan oleh cuaca yang berubah-ubah seperti cuaca yang tiba-tiba terik dan terkadang mendung sehingga intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam bak juga akan berbeda. Hal lain yang mempengaruhi adalah kerapatan tanaman pada masing-masing bak percobaan. Semakin tinggi tingkat kerapatan tanaman akan berpengaruh pada rendahnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam air limbah sehingga pada kerapatan tanaman yang tinggi akan menghasilkan suhu yang lebih rendah (dingin). Tetapi semakin rendah kerapatan tanaman seperti pada kerapatan 0% (kontrol), maka cahaya matahari yang masuk ke dalam air limbah akan optimal, karena tidak ada tanaman yang menghalangi cahaya tersebut. Hal inilah yang menyebabkan suhu pada kerapatan yang rendah menghasilkan nilai suhu yang lebih tinggi (panas) dibandingkan kerapatan lainnya.

4.9.2 Derajat Keasaman (pH/Poisoning of Hydrogen)

Berdasarkan data hasil pengukuran kualitas air pada Tabel 3 didapatkan nilai pH pada limbah pabrik asbes sebesar 10,11. Nilai pH ini menunjukkan nilai pH yang bersifat basa karena nilai pH lebih besar dari 7. Tingginya nilai pH ini disebabkan karena terdapat kandungan kapur di dalam semen yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan asbes. Menurut Khusna (2012), semen

merupakan hasil industri dari perpaduan bahan baku batu kapur atau gamping sebagai bahan utama dan lempung atau tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (*bulk*) kering yang berupa partikel-partikel halus. Hal inilah yang menyebabkan tingginya nilai pH pada limbah pabrik asbes.

Rata-rata nilai pH selama penelitian yang berkisar antara 8 – 10,11 pada semua kerapatan. Rata-rata nilai pH tertinggi terdapat pada hari ke-0 yaitu sebesar 10,11 pada semua kerapatan. Sedangkan rata-rata nilai pH terendah terdapat pada hari ke-24 yaitu sebesar 8 pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100%. Nilai pH pada kerapatan 0% (kontrol) tidak mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena tidak ada tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam bak kontrol. Tetapi pada kerapatan 20% sampai dengan 100%, pH mengalami penurunan menjadi 8. Nilai pH pada hari ke-24 ini merupakan nilai pH yang disukai oleh organisme akuatik. Hal ini sesuai dengan pendapat Effendi (2003) yang menyatakan bahwa sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH sekitar 7-8,5.

Penurunan nilai derajat keasaman disebabkan karena Pb telah diserap atau diikat oleh akar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sehingga memudahkan mikroba perombak dalam proses pendegradasian. Menurut Vidali (2001), mikroorganisme mampu mendegradasi bahan kimia berbahaya dalam lingkungan menjadi air dan gas yang tidak berbahaya (CO_2). Nurhidayah, *et al.* (2014) menambahkan bahwa pH dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan, dalam hal ini kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Kenaikan pH pada badan perairan akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut.

Bahan organik yang telah diserap atau diikat oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) akan didegradasi oleh bakteri *Bacillus subtilis* menjadi senyawa sederhana yaitu, asam amino dan asam lemak (asam organik) hingga diperoleh amoniak, nitrat, nitrit dan nitrogen dengan terbentuknya asam organik hasil pemecahan protein dan lemak, maka derajat keasaman akan terus menurun mendekati derajat keasaman netral. Sedangkan bahan anorganik pada limbah cair pabrik asbes diserap atau diikat oleh akar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sehingga logam berat pada limbah dapat berkurang. Kadar derajat keasaman yang baik adalah kadar yang masih memungkinkan kehidupan biologis didalam air dapat berjalan dengan baik (Ginting, 1995).

Nilai derajat keasaman erat kaitannya dengan nilai karbondioksida, semakin tinggi nilai karbondioksida didalam air limbah maka nilai derajat keasaman akan rendah. Tanaman kayu apu memerlukan karbondioksida dalam proses fotosintesis kemudian akan dirubah menjadi monosakarida, sehingga kebutuhan karbondioksida didalam limbah akan naik maka nilai derajat keasaman akan rendah. Menurut Effendi (2000), fotosintesis merupakan proses yang menyerap karbondioksida, sehingga dapat meningkatkan derajat keasaman perairan. Sedangkan respirasi menghasilkan karbondioksida kedalam ekosistem, sehingga derajat keasaman perairan menurun. Karbon dioksida dalam ekosistem perairan dihasilkan melalui proses respirasi oleh semua organisme dan proses perombakan bahan organik dan anorganik oleh bakteri dalam menurunkan timbal.

4.9.3 Oksigen Terlarut (DO/Dissolved Oxygen)

Berdasarkan data hasil pengukuran kualitas air pada Tabel 3 didapatkan rata-rata nilai DO tertinggi terdapat pada hari ke-16 yaitu sebesar 4,6 pada kerapatan 100%. Tingginya nilai DO disebabkan karena tingginya kerapatan tanaman sebagai penyumbang oksigen. Sedangkan rata-rata nilai DO terendah

terdapat pada hari ke-0 yaitu sebesar 1,2 mg/l pada semua kerapatan. Rata-rata kisaran DO pada kerapatan 0% sampai dengan kerapatan 100% sebesar 1,2 – 4,6 mg/l. Kisaran ini menunjukkan bahwa kualitas air limbah asbes dapat dikategorikan sebagai perairan yang buruk dengan tingkat pencemaran yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Salmin (2005) yang menyatakan bahwa perairan dapat dikategorikan sebagai perairan yang baik dan tingkat pencemarannya rendah jika kadar oksigen terlarutnya > 5 ppm. Effendi (2003) juga menyatakan bahwa perairan yang diperuntukkan bagi keperluan perikanan sebaiknya memiliki kadar oksigen tidak kurang dari 5 mg/l.

Tanaman kayu apu melakukan proses penyerapan melalui akar sehingga memudahkan mikroorganisme untuk merombak Pb dalam air limbah. Menurut Hartanti, *et al.* (2014), proses perombakan yang dilakukan oleh mikroba aerob membutuhkan oksigen guna merombak bahan logam berat, dan tanaman kayu apu mampu meningkatkan persediaan oksigen sehingga mikroba perombak dapat melakukan proses pendegradasian senyawa sederhana menjadi amoniak, nitrat, nitrit dan nitrogen. Dalam hal ini tanaman mampu meningkatkan persediaan oksigen hanya sampai hari ke-16.

Namun pada hari ke-24, didapatkan nilai kadar oksigen terlarut yang rendah yaitu sebesar 1,6 – 2,8 mg/l. Sedangkan menurut Hermawati, *et al.* (2005) kondisi dengan aerasi kadar oksigen terlarut dapat dipertahankan berkisar 6 – 7 mg/l. Memang pada kenyataannya gerakan aerasi di dalam air, membuat oksigen bebas di udara masuk ke dalam air sehingga oksigen terlarut menjadi meningkat. Tetapi pada penelitian ini, tanaman kayu apu sebagai salah satu penyumbang oksigen, mengalami fase letal sehingga sebagian besar oksigen digunakan oleh bakteri untuk melakukan proses dekomposisi. Jadi sumber O_2 untuk mendekomposisi hanya berasal dari difusi udara. Inilah yang menyebabkan nilai oksigen terlarut menjadi rendah meskipun sudah diberi aerasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kerapatan 40% dengan lama penyerapan 24 hari merupakan kerapatan yang paling optimal dalam menurunkan konsentrasi Pb pada air limbah yaitu sebesar 0,091 dan telah sesuai dengan baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.
- Pada kerapatan 20% sampai dengan kerapatan 100% diperoleh rata-rata nilai *Removal efficiency* (RE) berkisar antara 60,25% – 75,14%, rata-rata nilai faktor biokonsentrasi (BCF) daun kayu apu berkisar antara 0,016 – 0,844, rata-rata nilai faktor biokonsentrasi (BCF) akar berkisar antara 0,038 – 1,814, rata-rata nilai faktor translokasi (TF) berkisar antara 0,429 – 0,620 dan rata-rata nilai fitoremediasi (FTD) berkisar antara -0,390 – 1,414.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian skripsi ini disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui tanaman yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat dalam limbah pabrik asbes dengan waktu penyerapan yang cepat dikarenakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) hanya mampu bertahan sampai hari ke-8 sebagai fitoremediator pada limbah pabrik asbes dan sebaiknya pemberian tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) ini dilakukan setelah limbah asbes mengalami proses penetralan menggunakan bahan kimia sehingga limbah yang dibuang ke perairan merupakan limbah yang telah sesuai dengan baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, N. N., E. Susanto., P. I. Tjahaja dan P. Sukmabuana. 2011. *Penyisihan Radiosesium dari Air oleh Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknolgi Nuklir. Batan Bandung, 22 Juni 2011.
- Ali, M. dan Rina. 2011. *Kemampuan Tanaman Mangrove Untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb)*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Aprilia, D. D. dan K. I. Purwani. 2013. Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap Akumulasi Logam Timbal (Pb) pada Tanaman *Euphorbia milii*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2 (1): E79-E83.
- Apriliani, A. 2010. *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb Dalam Air Limbah [Skripsi]*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. 91 hlm.
- Ardyanto, D. 2005. Deteksi Pencemaran Timah Hitam (Pb) Dalam Darah Masyarakat Yang Terpapar Timbal (Plumbum). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2 (68): 67-76.
- Barus, T. A. 2002. *Pengantar Limnologi*. Jurusan Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bassett, J., R. C. Denney., G. H. Jeffery and J. Mendham. 1991. *Buku Ajar Vogel. Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik Edisi 4*. Penerbit Buku Kedokteran EGC: London.
- Backer, R. C. 1988. *Flora of Java Spermathophytes Only*. Gronngen. The Netherlands.
- Bryan, G. W. 1976. *Heavy Metal Contamination in The Sea dalam R. Johson (Ed). Marine Pollution*. London Academic Press: London.
- Bloom, J. H. 1998. *Chemical and Physical Water Quality Analysis*. Nuffic Unibraw/Luw/Fish. Malang.
- Collins, C. D. 1999. *Strategies for Minimizing Environmental Contaminant*. Trend Plant Sci.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press: Jakarta.
- . 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia: Jakarta.
- Department of Primary Industries. 2006. *Water Lettuce*. Profitable and Sustainable Primary Industries. www.dpi.nsw.gov.au.
- Don, W. S., T. Emir dan C. Hadibroto. 2000. *Tanaman Air*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.

- Effendi, O. U. 2000. *Ilmu Teori dan Filsafat Komunikasi*. PT Citra Aditya Bakti: Bandung
- , H., 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisus: Yogyakarta.
- Fachrurrozi, M., L. B. Utami dan D. Suryani. 2010. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes* L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu Di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *KES MAS*, 4(1): 1-75.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisus: Yogyakarta.
- Fitter, A. H. dan R. K. M. Hay. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Foth, H. D. 1991. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada: Jakarta
- Ghopal, B. dan K. P. Sharma. 1981. *Waterhyacinth*. Hindasia Publisher. New Delhi. P. 16-61.
- Ginting, P. 1995. *Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri*. Pustaka Sinar Harapan: Jakarta.
- Goldman, C. R. dan A. J. Horne. 1983. *Limnology*. Mc. Graw Hill. International Book Company, Tokyo.
- Grant, C. A., W. T. Buckley and L. D. Bailey. 1998. *Cadmium Accumulation in Crops*. Ca. J. Plant Sci.
- Gusnita, D. 2012. Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13 (3): 95-101.
- Gwozdz, E. A., R. Przymusinky and J. Deckert. 1997. *Plant Cell Responses to heavy metal, Molecular and Physiological aspect*. Acta Physiol. Plant.
- Haeruman, H. 2004. *Perancangan Penelitian Uji BNT*. Universitas Bengkulu. Sumatera.
- Hamzah, F. dan Y. Pancawati. 2013. Fitoremediasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove. *Ilmu Kelautan*, 18 (4): 203-212.
- Handayani, N. I., S. B. Sasongko dan A. Hadiyanto. 2012. *Kajian Parameter Suhu dalam Baku Mutu Air Limbah Industri Gula Jenis Air Limbah Kondensor di Jawa Tengah*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Semarang, 11 September 2012.
- Haque, N., J. R. Peralta-Videa, G. L. Jones, T. E. Gill and J. L. Gardea-Torresdey. 2008. Screening the phytoremediation potential of desert broom (*Baccharis sarothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environmental Pollution*, 153: 362-368.

- Hardiani, H. 2009. Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS*, 44(1): 27- 40.
- Haridjaja, O., W. Purwakusumas dan R. Safitri. 2012. Pemanfaatan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Dan Kiambang (*Salvinia molesta* D. mitch) Untuk Meningkatkan Kualitas Air Greywater Hidroponik Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.). Use Of *Pistia stratiotes* L. And *Salvinia molesta* D. mitch On Increasing Greywater Quality Of Hydroponic *Lactuca sativa* L. *Jurnal Sains Terapan*. 15 hlm.
- Hartanti, P. I., A. T. S. Haji dan R. Wirosodarmo. 2014. Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* : 31-37.
- Haslam, S. M. 1997. *River Pollution an Ecologycal Perspective*. Belhaven Press: London.
- Haryanti, D., D. Budianta dan Salni. 2013. Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah. *Jurnal Penelitian Sains*, 16 (2): 52-58.
- Hermawati, E., Wiryanto dan Solichatun. 2005. Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.). *Phytoremediation of detergent wastes used Pistia stratiotes L. and Limnocharis flava L. BioSMART*, 7(2): 115-124.
- Hertika, A. M. S. 2011. Pencemaran Lingkungan (Sumber, Dampak dan Upaya Penanggulangannya). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. 161 hlm.
- Hidayati, E. N. 2013. *Perbandingan Metode Destruksi Pada Analisis Pb Dalam Rambut Dengan AAS [Skripsi]*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Semarang. 70 hlm.
- Hutagalung, H. P. dan A. Rozak. 1997. *Penentuan Kadar Nitrat. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. H. P. Hutagalung, D. Setiapermana dan S. H. Riyono (Editor)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi, LIPI. Jakarta.
- Indrasti, N. S., Suprihatin., Burhanudin dan A. Novita. 2012. Penyerapan Logam Pb Dan Cd Oleh Eceng Gondok : Pengaruh Konsentrasi Logam Dan Lama Waktu Kontak. *J. Tek. Ind. Pert*, 16(1): 44-50.
- Isnaini, P., R. Zein dan E. Munaf. 2013. Penyerapan Ion Cd (II) dan Zn (II) dalam Air Limbah Menggunakan Kulit Jengkol (*Pithecellbium jiringa* Prain.). *Jurnal Kimia Unand*, 2(3): 20-31.
- Juhaeti, T., F. Syarif dan N. Hidayati. 2005. Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Biodiversitas*, 6(1); 31-33

- Junita, L. N. 2013. *Profil Penyebaran Logam Berat Di Sekitar TPA Pakusari Jember*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Jember. 87 hlm.
- Khusna, H. 2012. *Analisis Kandungan Kimia Dan Pemanfaatan Sludge Industri Kertas Sebagai Bahan Pembuatan Batako [Skripsi]*. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 92 hlm
- Kordi dan Tancung. 2005. *Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Penerbit Andi : Yogyakarta.
- Liong, S. 2010. *Mekanisme Fitoakumulatif Ion Cd(II), Cr(VI) dan Pb(II) pada Kangkung Darat (Ipomoea reptans Poir)*. Disertasi Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Malayeri, B. E., A. Chehregani., N. Yousefi and B. Lorestani. 2008. Identification of the hyperaccumulator plants in copper and iron mine in Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11: 490-492.
- Mamonto, H. 2013. Pontetial Testing of *Pistia stratiotes* L. In Reducing Cyanide Value in Gold Mining Affluent. 24 hlm.
- Mariato, L. A. 2004. *Merawat dan Menata Tanaman Air*. AgroMedia Pustaka: Depok.
- Marschner, H. and V. Romheld. 1994. *Strategies of Plant for Aquisition of Iron*. Plant Soil.
- Mc. Grath, S. P. 1999. *Heavy Metal Uptake and Chemical Changes in the Rhizosphere of Thlaspi caerulescens Grown in Contaminated Soil*. Plant Soil.
- Memon, A. R., D. Aktoprakligül., A. Zdemür dan A. Vertii. 2001. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. *Tur. J. Bot.* 25: 111-121.
- Moenir, M. 2010. Kajian Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercekar Logam Berat. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*, 1 (2): 115-123.
- Murdhiani., T. Sabrina dan Sumono. 2011. Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Kolam Biofiltrasi Air Irigasi dengan Menggunakan Tanaman Air (*Aquatic Plant*). *Jurnal Ilmu Pertanian KULTIVAR*, 5(2): 1-8.
- Mustaniroh, S. A., Wignyanto dan B. Endi. 2009. Efektivitas Penurunan Bahan Organik Dan Anorganik Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Sebagai Biofilter. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang.
- Nawari. 2010. *Analisis Statistik dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17*. PT Elex Media Komputindo: Jakarta.

Niang, S. 1999. *Wastewater Treatment Using Water Lettuce for Reuse in Market Garden (Dakar)*.

Nopriani, L. S. 2011. *Teknik Uji Cepat Untuk Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tanah di Lahan Apel Batu*. Program Doktor Jurusan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.

Novandi, R., R. Hayati dan T. A. Zahara. 2014. *Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (Amaranthus tricolor L.)*. Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Ilmu Tanah, Universitas Tanjungpura, Program Studi Kimia, Universitas Tanjungpura, Pontianak.

Nurhayati, P., S. Abimanyu., S. Kaswati dan I. R. Fajr. 2012. Water Lettuce (*Pistia stratiotes*, Linn) Potency as One of Eco-friendly Phytoextraction Absorbers of Zinc Heavy Metal to Solve Industrial Waste Problem in Indonesia. *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology*, 4: 151-156.

Nurhidayah., D. Sofarini dan Yunandar. 2014. Fitoremediasi Tumbuhan Air Kiambang (*Salvinia molesta*) Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dan Perupuk (*Phragmites Karka*) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Karet. *EnviroScienceae*, 10: 18-26

Nuriasmita. 2012. *Penyebaran Tumbuhan Hiperakumulator Perak Pistia stratiotes*. Diakses pada tanggal 12 Januari 2015 pukul 21.48 WIB.

Onggo, T. M. 2009. *Pengaruh Konsentrasi Larutan Berbagai Senyawa Timbal (Pb) terhadap Kerusakan Tanaman, Hasil dan Beberapa Kriteria Kualitas Sayuran Daun Spinasia*. Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Kampus Jatinangor, Bandung.

Onrizal. 2005. *Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat*. Fakultas Pertanian, USU.

Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT Rineka Cipta: Jakarta.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah

Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia No. 03 tahun 1985. Tentang *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pemakaian Asbes*.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 tahun 1999. Tentang *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001. Tentang *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.

Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2004. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*

<http://lil.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm> Diakses pada tanggal 27 Maret 2015.

- Purnomo, T. dan Muchyiddin. 2007. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos Forsk.*) di Tambak Kecamatan Gresik. *Neptunus*, 14 (1) : 68-77.
- Purwaningsih, I. S. 2009. Pengaruh Penambahan Nutrisi Terhadap Efektifitas Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Limbah Orto-Klorofenol. *Jurnal Rekayasa Proses*, 3(1): 5-9.
- Puspita, A. D., A. Santoso dan B. Yulianto. 2013. Studi Akumulasi Logam Timbal (Pb) dan Efeknya Terhadap Kandungan Klorofil Daun Mangrove *Rhizophora mucronata*. *Journal Of Marine Research*, 3 (1): 44-53.
- Reddy, K. R., M. Agami and J. C. Tucker. 1989. Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) plants. *Aquat Bot*, 36: 33-43.
- Riwayati, I., I. Hartati., H. Purwanto dan Suwardiyono. 2014. *Adsorpsi Logam Berat Timbal dan Kadmium Pada Limbah Batik Menggunakan Biosorbent Pulpa Kopi Terxanthasi*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. Yogyakarta, 15 November 2014.
- Rochyatun, E., M. T. Kaisupy dan A. Rozak. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara Sains*, 10(1): 35-40.
- Rondonuwu, S. B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman Dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14 (1): 52-59.
- Rosita, E., W. R. Melani dan A. Zulfikar. 2013. *Efektivitas Fitoremediasi Kangkung Air (Ipomea aquatica FORSK) Terhadap Penyerapan Orthopospat pada Detergen Ditinjau dari Detensi Waktu dan Konsentrasi Orthopospat*. Universitas Maritim Raja Ali Haji. Riau.
- Rossiana, N., T. Supriatun dan Y. Dhahiyat. 2007. *Fitoremediasi Limbah Cair dengan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi dengan Sengon (Paraserianthes falcataria L. Nielsen) Bermikoriza*. Laporan Penelitian. Fakultas Matematika dan Ilm Pengetahuan Alam. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, XXX(3): 21-26.
- Santoso, S. 2009 *Panduan Lengkap Menguasai Statistik dengan SPSS 17*. PT Elex Media Komputindo: Jakarta.
- Sastrosupadi, A. 2000. *Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian*. Kanisus. Jakarta

Schwoerbel, R. A. 1987. *Handbook of Limnology*. Ellis Harwood. John Willey and Sons, New York.

Siahaan, M. T. A., Ambriyanto dan B. Yulianto. 2013. Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) Dengan Konsentrasi Berbeda Terhadap Klorofil, Kandungan Timbal Pada Akar Dan Daun, Serta Struktur Histologi Jaringan Akar Anakan Mangrove *Rhizophora mucronata*. *Journal Of Marine Research*, 2 (2): 111-119.

Simanjuntak, M. 2012. Kualitas Air Laut Ditinjau dari Aspek Zat Hara, Oksigen Terlarut dan pH di Perairan Banggal, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(2): 290-303.

Soesono. 1989. *Limnology*. Direktorat Jenderal Perikanan. Departemen Pertanian. Bogor

Sopyan., R. Sikanna dan N. K. Sumarni. 2014. Fitoakumulasi Merkuri Oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amarantus spinosus* Linn) Pada Tanah Tercemar. *Online Jurnal of Natural Science*, 3(1): 31-39.

Suciani, S. 2007. *Kadar Timbal Dalam Darah Polisi Lalu Lintas Dan Hubungannya Dengan Kadar Hemoglobin* [Tesis]. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang. 103 hlm.

Sudarmaji., J. Mukono dan C. I. Prasasti. 2006. Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2 (2): 129-142.

Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang Semarang*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Sugiyarto, K. H. dan R. D. Suyanti. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu: Yogyakarta.

Suhendrayatna. 2001. *Heavy Metal Bioremoval by Microorganism*. http://www.istecs.org/Publication/Japan/010211_suhendrayatna.PDF diakses pada tanggal 19 Januari 2015 pukul 12.54 WIB.

Suryati, P. dan B. Priyanto. 2003. Eliminasi Logam Berat Kadmium Dalam Air Limbah Menggunakan Tanaman Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan, P3TL-BPPT*. 4(3): 143-147.

Susarla S., V. F. Medina dan S. C. McCutcheon. 2002. Phytoremediation, an ecological solution to organic contamination. *Ecol Eng*, 18 : 647-58.

Sutika, N. 1989. *Ilmu Air*. Universitas Padjadjarang. BUNPAD Bandung. Bandung.

Tosepu, R. 2012. Laju Penurunan Logam Berat Plumbum (Pb) Dan Cadmium (Cd) Oleh Eichornia Crassipes Dan Cyperus Papyrus (*The Diminution Rate Of Heavy Metals, Plumbum And Cadmium By Eichornia Crassipes And Cyperus Papyrus*). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 19 (1): 37-45.

Ulfin, I. 2001. *Penyerapan Logam Berat Timbal dan Cadmium dalam Larutan oleh Kayu Apu (Pistia stratiotes L.)*. Majalah KAPPA, 2 (1) Januari 2001, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Ulfin, I. dan W. Widya. 2005. Study Penyerapan Kromium Dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*). *Akta Kimindo*, 1 (1): 41-48

Veronica. 2009. *Metode Eksperimen*. <http://www.yahoo.com/yahoo> Diakses pada tanggal 8 Januari 2015.

Vidali. 2001. Bioremediation and Overview. *Pure And Applied. Chemistry. IUPAC*, 73(7): 1163-1172.

Welch, P. S. 1952. *Lymnologi*. Mc. Graw – Hill publication. New York.

Widowati, W., A. Sastiono dan R. Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: Andi.

Widyaningsih, V. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kantin Yongma FISIP UI [Skripsi]*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok. 179 hlm.

Yoon, J., C. Xinde., Z. Qixing and L. Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment*: 456-464.

Yulaipi, S. dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(2): E166-E170.

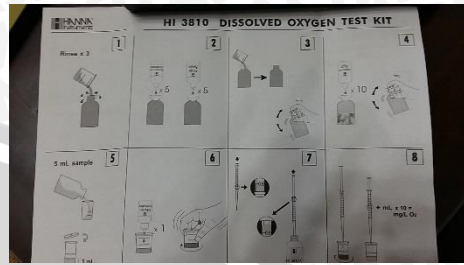
Yuliastuti, E. 2011. *Kajian Kualitas Air Sungai Ngringo Karanganyar Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air [Tesis]*. Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro. Semarang. 127 hlm.

Zipcodezoo. 2014. *Taksonomi Tanaman Kayu Apu (Pistia stratiotes L.)*. http://zipcodezoo.com/Plants/P/Pistia_stratiotes_L_Macrophylla_/#Taxonomy Diakses ada tanggal 12 Januari 23.25 WIB.

Lampiran 1. Alat dan bahan pengukuran kualitas air



(Larutan DO / DO Kit)



(Prosedur pengukuran DO)



(Dissolved Oxygen Test Kit)



(Thermometer digital)



(Aquadest dan Tissue)



(pH meter)

Lampiran 2. Lokasi penelitian



(Screen house Dinas Pertanian tampak depan)



(Screen house Dinas Pertanian lebih dekat)



(Screen house Dinas Pertanian tampak dalam)



(Paranet yang digunakan sekeliling screen house Dinas Pertanian)

Lampiran 3. Kondisi pabrik asbes



(Pengambilan sampel limbah)



(Kondisi di dalam pabrik)



(Bak-bak penetralan limbah)



(Bak penampungan limbah)



(IPAL pabrik asbes)



(Asbes yang dihasilkan)

Lampiran 4. Lokasi pengambilan sampel kayu apu (*Pistia Stratiotes* L.)



(Kayu apu di kelurahan Kedopok)



(Tanaman kayu apu)



(Kayu apu di kelurahan Kedopok)



(Tanaman kayu apu)



(Pengambilan sampel kayu apu)



(Tanaman kayu apu)

Lampiran 5. Proses aklimatisasi kayu apu (*Pistia Stratiotes* L.)



(Kayu apu yang akan diaklimatisasi sebelum ditambahkan air)



(Penyortiran kayu apu untuk dilakukan aklimatisasi)



(Proses aklimatisasi kayu apu)



(Bak ukuran 20 liter yang digunakan untuk aklimatisasi)

Lampiran 6. Menentukan kerapatan kayu apu (*Pistia Stratiotes* L.)



(Kerapatan 0% - kontrol)



(Kerapatan 20%)



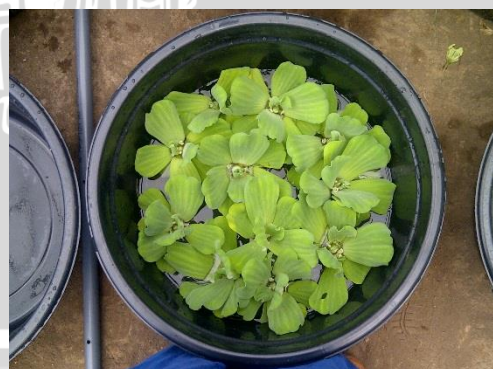
(Kerapatan 40%)



(Kerapatan 60%)



(Kerapatan 80%)



(Kerapatan 100%)

Lampiran 7. Perubahan morfologi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) selama penelitian (24 hari)

Hari ke-0	Hari ke-8	Hari ke-16	Hari ke-24
Kerapatan 0% 	Kerapatan 0% 	Kerapatan 0% 	Kerapatan 0% 
Kerapatan 20% 	Kerapatan 20% 	Kerapatan 20% 	Kerapatan 20% 
Kerapatan 40% 	Kerapatan 40% 	Kerapatan 40% 	Kerapatan 40% 
Kerapatan 60% 	Kerapatan 60% 	Kerapatan 60% 	Kerapatan 60% 
Kerapatan 80% 	Kerapatan 80% 	Kerapatan 80% 	Kerapatan 80% 
Kerapatan 100% 	Kerapatan 100% 	Kerapatan 100% 	Kerapatan 100% 

Lampiran 8. Pengambilan sampel air, akar dan daun untuk dianalisis serta pengukuran kualitas air



(Pengukuran pH menggunakan kertas lakmus)



(Pengukuran pH menggunakan pH meter)



(Pengukuran DO menggunakan titrasi DO)



(Pengukuran suhu menggunakan thermometer digital)



(Pengambilan sampel air, akar, dan daun untuk dianalisis)



(Salah satu contoh sampel air yang akan dianalisis)

Lampiran 9. Alat dan bahan penelitian

Alat	Bahan	Parameter	Satuan
Thermometer digital	Air limbah pabrik	Suhu	°C
pH meter	Air limbah pabrik	pH	-
Titration DO	Botol DO, gelas ukur, larutan <i>manganous sulphate</i> , <i>alkali azide</i> , <i>sulphuric acid</i> , <i>starch</i> dan aquadest	Oksigen terlarut	mg/l
Bak volume 20 liter	Air limbah pabrik dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.)		
Serapan Atom (AAS)	Beaker glass, kompor listrik, kertas saring, labu ukur, tanur, spatula, HCl, aquadest, HNO ₃	Analisis logam berat Pb pada air limbah pabrik, akar dan daun kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.)	mg/l (ppm)

Lampiran 10. Kadar Pb dalam air, akar dan daun pada kerapatan yang berbeda dengan dengan waktu pengamatan 24 hari

Faktor A	r	Faktor B				Total
		Hari ke-0	Hari ke-8	Hari ke-16	Hari ke-24	
0%	Air 1	0,366	0,327	0,310	0,285	1,288
	Air 2	0,366	0,244	0,185	0,115	0,910
	Akar 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Akar 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Daun 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Daun 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sub Total		0,732	0,571	0,495	0,400	2,198
20%	Air 1	0,366	0,218	0,160	0,080	0,824
	Air 2	0,366	0,270	0,200	0,145	0,981
	Akar 1	0,014	0,115	0,159	0,145	0,433
	Akar 2	0,014	0,058	0,100	0,130	0,302
	Daun 1	0,006	0,043	0,073	0,085	0,207
	Daun 2	0,006	0,043	0,067	0,085	0,201
Sub Total		0,772	0,747	0,759	0,670	2,948
40%	Air 1	0,366	0,210	0,165	0,077	0,818
	Air 2	0,366	0,232	0,190	0,105	0,893
	Akar 1	0,014	0,129	0,144	0,173	0,460
	Akar 2	0,014	0,058	0,129	0,145	0,346
	Daun 1	0,006	0,049	0,067	0,073	0,195
	Daun 2	0,006	0,018	0,037	0,055	0,116
Sub Total		0,772	0,696	0,732	0,628	2,828
60%	Air 1	0,366	0,216	0,170	0,090	0,842
	Air 2	0,366	0,227	0,175	0,110	0,878
	Akar 1	0,014	0,100	0,143	0,158	0,415
	Akar 2	0,014	0,086	0,130	0,159	0,389
	Daun 1	0,006	0,031	0,067	0,097	0,201
	Daun 2	0,006	0,037	0,061	0,067	0,171
Sub Total		0,772	0,697	0,746	0,681	2,896
80%	Air 1	0,366	0,294	0,235	0,165	1,060
	Air 2	0,366	0,253	0,172	0,126	0,917
	Akar 1	0,014	0,029	0,043	0,086	0,172
	Akar 2	0,014	0,072	0,172	0,188	0,446
	Daun 1	0,006	0,012	0,024	0,037	0,079
	Daun 2	0,006	0,031	0,091	0,116	0,244
Sub Total		0,772	0,691	0,737	0,718	2,918
100%	Air 1	0,366	0,253	0,180	0,097	0,896
	Air 2	0,366	0,274	0,218	0,130	0,988
	Akar 1	0,014	0,057	0,086	0,115	0,272
	Akar 2	0,014	0,071	0,086	0,101	0,272
	Daun 1	0,006	0,024	0,043	0,049	0,122
	Daun 2	0,006	0,024	0,043	0,049	0,122
Sub Total		0,772	0,703	0,656	0,541	2,672
		4,592	4,105	4,125	3,638	16,460

Lampiran 11. Kadar Pb dalam air limbah selama 24 hari

Kerapatan	Ulangan	Konsentrasi Pb dalam air limbah (ppm)			
		Hari ke-0	Hari ke-8	Hari ke-16	Hari ke-24
0%	1	0,366	0,327	0,310	0,285
	2	0,366	0,244	0,185	0,115
	Rata-rata	0,366	0,286	0,248	0,200
	Standart deviasi	0	0,059	0,088	0,120
20%	1	0,366	0,218	0,160	0,080
	2	0,366	0,270	0,200	0,145
	Rata-rata	0,366	0,244	0,180	0,113
	Standart deviasi	0	0,037	0,028	0,046
40%	1	0,366	0,210	0,165	0,077
	2	0,366	0,232	0,190	0,105
	Rata-rata	0,366	0,221	0,178	0,091
	Standart deviasi	0	0,016	0,018	0,020
60%	1	0,366	0,216	0,170	0,090
	2	0,366	0,227	0,175	0,110
	Rata-rata	0,366	0,222	0,173	0,100
	Standart deviasi	0	0,008	0,004	0,014
80%	1	0,366	0,294	0,235	0,165
	2	0,366	0,253	0,172	0,126
	Rata-rata	0,366	0,274	0,204	0,146
	Standart deviasi	0	0,029	0,045	0,028
100%	1	0,366	0,253	0,180	0,097
	2	0,366	0,274	0,218	0,130
	Rata-rata	0,366	0,264	0,199	0,114
	Standart deviasi	0	0,015	0,027	0,023

Lampiran 12. Kadar Pb dalam akar *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari

Kerapatan	Ulangan	Konsentrasi Pb dalam akar <i>Pistia stratiotes</i> L. (ppm)			
		Hari ke-0	Hari ke-8	Hari ke-16	Hari ke-24
20%	1	0,014	0,115	0,159	0,145
	2	0,014	0,058	0,100	0,130
	Rata-rata	0,014	0,0865	0,1295	0,1375
	Standart deviasi	0	0,040	0,042	0,011
40%	1	0,014	0,129	0,144	0,173
	2	0,014	0,058	0,129	0,145
	Rata-rata	0,014	0,0935	0,1365	0,159
	Standart deviasi	0	0,050	0,011	0,020
60%	1	0,014	0,100	0,143	0,158
	2	0,014	0,086	0,130	0,159
	Rata-rata	0,014	0,093	0,1365	0,1585
	Standart deviasi	0	0,010	0,009	0,001
80%	1	0,014	0,029	0,043	0,086
	2	0,014	0,072	0,172	0,188
	Rata-rata	0,014	0,0505	0,1075	0,137
	Standart deviasi	0	0,030	0,091	0,072
100%	1	0,014	0,057	0,086	0,115
	2	0,014	0,071	0,086	0,101
	Rata-rata	0,014	0,064	0,086	0,108
	Standart deviasi	0	0,010	0	0,010

Lampiran 13. Kadar Pb dalam daun *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari

Kerapatan	Ulangan	Konsentrasi Pb dalam daun <i>Pistia stratiotes</i> L. (ppm)			
		Hari ke-0	Hari ke-8	Hari ke-16	Hari ke-24
20%	1	0,006	0,043	0,073	0,085
	2	0,006	0,043	0,067	0,085
	Rata-rata	0,006	0,043	0,070	0,085
	Standart deviasi	0	0	0,004	0
40%	1	0,006	0,049	0,067	0,073
	2	0,006	0,018	0,037	0,055
	Rata-rata	0,006	0,034	0,052	0,064
	Standart deviasi	0	0,022	0,021	0,013
60%	1	0,006	0,031	0,067	0,097
	2	0,006	0,037	0,061	0,067
	Rata-rata	0,006	0,034	0,064	0,082
	Standart deviasi	0	0,004	0,004	0,021
80%	1	0,006	0,012	0,024	0,037
	2	0,006	0,031	0,091	0,116
	Rata-rata	0,006	0,022	0,058	0,077
	Standart deviasi	0	0,013	0,047	0,056
100%	1	0,006	0,024	0,043	0,049
	2	0,006	0,024	0,043	0,049
	Rata-rata	0,006	0,024	0,043	0,049
	Standart deviasi	0	0	0	0

Lampiran 14. *Removal Efficiency (RE) logam Pb oleh Pistia stratiotes L.*

Kerapatan	Ulangan	Konsentrasi awal logam dalam limbah (ppm)	Konsentrasi akhir logam dalam limbah (ppm)	Removal Efficiency (RE)	Rata-rata	Standart deviasi
20%	1	0,366	0,145	60,380	69,260	12,558
	2	0,366	0,08	78,140		
40%	1	0,366	0,105	71,310	75,135	5,409
	2	0,366	0,077	78,960		
60%	1	0,366	0,09	75,410	72,680	3,861
	2	0,366	0,11	69,950		
80%	1	0,366	0,165	54,920	60,245	7,531
	2	0,366	0,126	65,570		
100%	1	0,366	0,13	64,480	68,990	6,378
	2	0,366	0,097	73,500		



Lampiran 15. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF)

a. Nilai BCF Pb dari air limbah ke akar *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari

Waktu Pengamatan	Perlakuan	BCF di Akar		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 20%	0,038	0,038	0,038	0
	Kerapatan 40%	0,038	0,038	0,038	0
	Kerapatan 60%	0,038	0,038	0,038	0
	Kerapatan 80%	0,038	0,038	0,038	0
	Kerapatan 100%	0,038	0,038	0,038	0
Hari ke-8	Kerapatan 20%	0,528	0,215	0,372	0,221
	Kerapatan 40%	0,614	0,25	0,432	0,257
	Kerapatan 60%	0,463	0,379	0,421	0,059
	Kerapatan 80%	0,099	0,285	0,192	0,132
	Kerapatan 100%	0,225	0,259	0,242	0,024
Hari ke-16	Kerapatan 20%	0,994	0,5	0,747	0,349
	Kerapatan 40%	0,873	0,679	0,776	0,137
	Kerapatan 60%	0,841	0,743	0,792	0,069
	Kerapatan 80%	0,183	1,000	0,592	0,578
	Kerapatan 100%	0,478	0,394	0,436	0,059
Hari ke-24	Kerapatan 20%	1,813	0,897	1,355	0,648
	Kerapatan 40%	2,247	1,381	1,814	0,612
	Kerapatan 60%	1,756	1,445	1,601	0,220
	Kerapatan 80%	0,521	1,492	1,007	0,687
	Kerapatan 100%	1,186	0,777	0,982	0,289

b. Nilai BCF Pb dari air limbah ke akar *Pistia stratiotes* L. selama 24 hari

Waktu Pengamatan	Perlakuan	BCF di Daun		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 20%	0,016	0,016	0,016	0
	Kerapatan 40%	0,016	0,016	0,016	0
	Kerapatan 60%	0,016	0,016	0,016	0
	Kerapatan 80%	0,016	0,016	0,016	0
	Kerapatan 100%	0,016	0,016	0,016	0
Hari ke-8	Kerapatan 20%	0,197	0,159	0,178	0,027
	Kerapatan 40%	0,233	0,078	0,156	0,110
	Kerapatan 60%	0,144	0,163	0,154	0,013
	Kerapatan 80%	0,041	0,123	0,082	0,058
	Kerapatan 100%	0,095	0,088	0,092	0,005
Hari ke-16	Kerapatan 20%	0,456	0,335	0,396	0,086
	Kerapatan 40%	0,406	0,195	0,301	0,149
	Kerapatan 60%	0,394	0,349	0,372	0,032
	Kerapatan 80%	0,102	0,529	0,316	0,302
	Kerapatan 100%	0,239	0,197	0,218	0,030
Hari ke-24	Kerapatan 20%	1,063	0,586	0,825	0,337
	Kerapatan 40%	0,948	0,524	0,736	0,300
	Kerapatan 60%	1,078	0,609	0,844	0,332
	Kerapatan 80%	0,224	0,921	0,573	0,493
	Kerapatan 100%	0,505	0,377	0,441	0,091

Lampiran 16. Nilai Faktor Translokasi (TF) Pb dari akar ke daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) selama penelitian (24 hari)

Waktu Pengamatan	Perlakuan	Faktor Translokasi (TF)		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 20%	0,429	0,429	0,429	0
	Kerapatan 40%	0,429	0,429	0,429	0
	Kerapatan 60%	0,429	0,429	0,429	0
	Kerapatan 80%	0,429	0,429	0,429	0
	Kerapatan 100%	0,429	0,429	0,429	0
Hari ke-8	Kerapatan 20%	0,374	0,741	0,558	0,260
	Kerapatan 40%	0,380	0,310	0,345	0,049
	Kerapatan 60%	0,310	0,430	0,370	0,085
	Kerapatan 80%	0,414	0,431	0,423	0,012
	Kerapatan 100%	0,421	0,338	0,380	0,059
Hari ke-16	Kerapatan 20%	0,459	0,670	0,565	0,149
	Kerapatan 40%	0,465	0,287	0,376	0,126
	Kerapatan 60%	0,469	0,469	0,469	0
	Kerapatan 80%	0,558	0,529	0,544	0,021
	Kerapatan 100%	0,500	0,500	0,500	0
Hari ke-24	Kerapatan 20%	0,586	0,654	0,620	0,048
	Kerapatan 40%	0,422	0,379	0,401	0,030
	Kerapatan 60%	0,614	0,421	0,518	0,136
	Kerapatan 80%	0,430	0,617	0,524	0,132
	Kerapatan 100%	0,426	0,485	0,456	0,042

Lampiran 17. Fitoremediasi (FTD) pada akar dan daun *Pistia stratiotes* L. selama penelitian (24 hari)

Waktu Pengamatan	Perlakuan	FTD		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 20%	-0,390	-0,390	-0,390	0
	Kerapatan 40%	-0,390	-0,390	-0,390	0
	Kerapatan 60%	-0,390	-0,390	-0,390	0
	Kerapatan 80%	-0,390	-0,390	-0,390	0
	Kerapatan 100%	-0,390	-0,390	-0,390	0
Hari ke-8	Kerapatan 20%	0,154	-0,527	-0,187	0,482
	Kerapatan 40%	0,234	-0,060	0,087	0,208
	Kerapatan 60%	0,153	-0,051	0,051	0,144
	Kerapatan 80%	-0,315	-0,146	-0,231	0,120
	Kerapatan 100%	-0,196	-0,079	-0,138	0,083
Hari ke-16	Kerapatan 20%	0,535	-0,170	0,183	0,499
	Kerapatan 40%	0,407	0,392	0,400	0,011
	Kerapatan 60%	0,373	0,274	0,324	0,070
	Kerapatan 80%	-0,375	0,471	0,048	0,598
	Kerapatan 100%	-0,022	-0,106	-0,064	0,059
Hari ke-24	Kerapatan 20%	1,226	0,243	0,735	0,695
	Kerapatan 40%	1,825	1,002	1,414	0,582
	Kerapatan 60%	1,142	1,024	1,083	0,083
	Kerapatan 80%	0,091	0,875	0,483	0,554
	Kerapatan 100%	0,759	0,292	0,526	0,330

Lampiran 18. Hasil pengukuran kualitas air

a. Suhu

Waktu Pengamatan	Perlakuan Kerapatan	Suhu		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 0%	31,1	31,1	31,1	0
	Kerapatan 20%	31,1	31,1	31,1	0
	Kerapatan 40%	31,1	31,1	31,1	0
	Kerapatan 60%	31,1	31,1	31,1	0
	Kerapatan 80%	31,1	31,1	31,1	0
	Kerapatan 100%	31,1	31,1	31,1	0
Hari ke-8	Kerapatan 0%	34,8	34,9	34,9	0,071
	Kerapatan 20%	34,8	34,7	34,8	0,071
	Kerapatan 40%	34,6	34,8	34,7	0,141
	Kerapatan 60%	34,7	34,6	34,7	0,071
	Kerapatan 80%	34,3	34,9	34,6	0,424
	Kerapatan 100%	34,4	34,7	34,6	0,212
Hari ke-16	Kerapatan 0%	32,4	33,4	32,9	0,707
	Kerapatan 20%	32,3	33,3	32,8	0,707
	Kerapatan 40%	32,5	33,1	32,8	0,424
	Kerapatan 60%	32,7	32,9	32,8	0,141
	Kerapatan 80%	32,5	33	32,8	0,354
	Kerapatan 100%	32,2	33	32,6	0,566
Hari ke-24	Kerapatan 0%	32,3	32,7	32,5	0,283
	Kerapatan 20%	32,2	32,5	32,4	0,212
	Kerapatan 40%	31,4	32,4	31,9	0,707
	Kerapatan 60%	31,5	32,1	31,8	0,424
	Kerapatan 80%	31,4	31,9	31,7	0,354
	Kerapatan 100%	31,2	31,9	31,6	0,495

b. Derajat Keasaman (pH/Poisoning of Hydrogen)

Waktu Pengamatan	Perlakuan Kerapatan	pH		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 0%	10,11	10,11	10,1	0
	Kerapatan 20%	10,11	10,11	10,1	0
	Kerapatan 40%	10,11	10,11	10,1	0
	Kerapatan 60%	10,11	10,11	10,1	0
	Kerapatan 80%	10,11	10,11	10,1	0
	Kerapatan 100%	10,11	10,11	10,1	0
Hari ke-8	Kerapatan 0%	9,99	9,98	10,0	0,007
	Kerapatan 20%	9,16	9,09	9,1	0,049
	Kerapatan 40%	9,13	9,02	9,1	0,078
	Kerapatan 60%	9,05	9,01	9,0	0,028
	Kerapatan 80%	9,02	9,00	9,0	0,014
	Kerapatan 100%	9,05	8,93	9,0	0,085
Hari ke-16	Kerapatan 0%	9,98	9,97	10,0	0,007
	Kerapatan 20%	9,12	9,07	9,1	0,035
	Kerapatan 40%	9,08	8,96	9,0	0,085
	Kerapatan 60%	9,03	8,81	8,9	0,156
	Kerapatan 80%	9,06	8,99	9,0	0,049
	Kerapatan 100%	9,03	8,87	9,0	0,113
Hari ke-24	Kerapatan 0%	10	10	10	0
	Kerapatan 20%	8	8	8	0
	Kerapatan 40%	8	8	8	0
	Kerapatan 60%	8	8	8	0
	Kerapatan 80%	8	8	8	0
	Kerapatan 100%	8	8	8	0

c. Oksigen Terlarut (DO/Dissolved Oxygen)

Waktu Pengamatan	Perlakuan Kerapatan	DO		Rata-rata	Standart deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2		
Hari ke-0	Kerapatan 0%	1,2	1,2	1,2	0
	Kerapatan 20%	1,2	1,2	1,2	0
	Kerapatan 40%	1,2	1,2	1,2	0
	Kerapatan 60%	1,2	1,2	1,2	0
	Kerapatan 80%	1,2	1,2	1,2	0
	Kerapatan 100%	1,2	1,2	1,2	0
Hari ke-8	Kerapatan 0%	2,1	2	2,05	0,071
	Kerapatan 20%	2,4	2,3	2,35	0,071
	Kerapatan 40%	2,5	2,4	2,45	0,071
	Kerapatan 60%	2,7	2,8	2,75	0,071
	Kerapatan 80%	3,1	2,9	3	0,141
	Kerapatan 100%	3,3	3	3,15	0,212
Hari ke-16	Kerapatan 0%	3	3,1	3,05	0,071
	Kerapatan 20%	3,4	3,3	3,35	0,071
	Kerapatan 40%	3,5	3,4	3,45	0,071
	Kerapatan 60%	4	3,8	3,9	0,141
	Kerapatan 80%	4,5	4,5	4,5	0
	Kerapatan 100%	4,7	4,5	4,6	0,141
Hari ke-24	Kerapatan 0%	1,8	1,4	1,6	0,283
	Kerapatan 20%	1,9	1,5	1,7	0,283
	Kerapatan 40%	2	1,8	1,9	0,141
	Kerapatan 60%	2,2	1,8	2	0,283
	Kerapatan 80%	2,3	2,5	2,4	0,141
	Kerapatan 100%	2,9	2,7	2,8	0,141

Lampiran 19. Output perbandingan konsentrasi Pb dalam air limbah pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Pb

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.398 ^a	23	.017	11.447	.000
Intercept	2.658	1	2.658	1.759E3	.000
Perlakuan	.021	5	.004	2.818	.039
Waktu	.367	3	.122	80.870	.000
Perlakuan * Waktu	.010	15	.001	.440	.949
Error	.036	24	.002		
Total	3.092	48			
Corrected Total	.434	47			

a. R Squared = .916 (Adjusted R Squared = .836)

Estimated Marginal Means

1. Perlakuan

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 0%	.275	.014	.246	.303
Kerapatan 20%	.226	.014	.197	.254
Kerapatan 40%	.214	.014	.186	.242
Kerapatan 60%	.215	.014	.187	.243
Kerapatan 80%	.247	.014	.219	.275
Kerapatan 100%	.235	.014	.207	.264

2. Waktu

Dependent Variable:Pb

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	.366	.011	.343	.389
Hari ke-8	.251	.011	.228	.275
Hari ke-16	.197	.011	.174	.220
Hari ke-24	.127	.011	.104	.150

3. Perlakuan * Waktu

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 0%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.285	.027	.229	.342
	Hari ke-16	.247	.027	.191	.304
	Hari ke-24	.200	.027	.143	.257
Kerapatan 20%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.244	.027	.187	.301
	Hari ke-16	.180	.027	.123	.237
	Hari ke-24	.112	.027	.056	.169
Kerapatan 40%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.221	.027	.164	.278
	Hari ke-16	.177	.027	.121	.234
	Hari ke-24	.091	.027	.034	.148
Kerapatan 60%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.221	.027	.165	.278
	Hari ke-16	.172	.027	.116	.229
	Hari ke-24	.100	.027	.043	.157
Kerapatan 80%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.273	.027	.217	.330
	Hari ke-16	.203	.027	.147	.260
	Hari ke-24	.145	.027	.089	.202
Kerapatan 100%	Hari ke-0	.366	.027	.309	.423
	Hari ke-8	.263	.027	.207	.320
	Hari ke-16	.199	.027	.142	.256
	Hari ke-24	.113	.027	.057	.170

Post Hoc Tests Perlakuan

Multiple Comparisons

Pb
LSD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 0%	Kerapatan 20%	.04912*	.019436	.018	.00901	.08924
	Kerapatan 40%	.06087*	.019436	.005	.02076	.10099
	Kerapatan 60%	.05975*	.019436	.005	.01964	.09986
	Kerapatan 80%	.02763	.019436	.168	-.01249	.06774
	Kerapatan 100%	.03925	.019436	.055	-.00086	.07936
Kerapatan 20%	Kerapatan 0%	-.04912*	.019436	.018	-.08924	-.00901
	Kerapatan 40%	.01175	.019436	.551	-.02836	.05186
	Kerapatan 60%	.01062	.019436	.590	-.02949	.05074
	Kerapatan 80%	-.02150	.019436	.280	-.06161	.01861
	Kerapatan 100%	-.00987	.019436	.616	-.04999	.03024
Kerapatan 40%	Kerapatan 0%	-.06087*	.019436	.005	-.10099	-.02076
	Kerapatan 20%	-.01175	.019436	.551	-.05186	.02836
	Kerapatan 60%	-.00112	.019436	.954	-.04124	.03899
	Kerapatan 80%	-.03325	.019436	.100	-.07336	.00686
	Kerapatan 100%	-.02162	.019436	.277	-.06174	.01849
Kerapatan 60%	Kerapatan 0%	-.05975*	.019436	.005	-.09986	-.01964
	Kerapatan 20%	-.01062	.019436	.590	-.05074	.02949
	Kerapatan 40%	.00112	.019436	.954	-.03899	.04124
	Kerapatan 80%	-.03212	.019436	.111	-.07224	.00799
	Kerapatan 100%	-.02050	.019436	.302	-.06061	.01961
Kerapatan 80%	Kerapatan 0%	-.02763	.019436	.168	-.06774	.01249
	Kerapatan 20%	.02150	.019436	.280	-.01861	.06161
	Kerapatan 40%	.03325	.019436	.100	-.00686	.07336
	Kerapatan 60%	.03212	.019436	.111	-.00799	.07224
	Kerapatan 100%	.01162	.019436	.555	-.02849	.05174
Kerapatan 100%	Kerapatan 0%	-.03925	.019436	.055	-.07936	.00086
	Kerapatan 20%	.00987	.019436	.616	-.03024	.04999
	Kerapatan 40%	.02162	.019436	.277	-.01849	.06174
	Kerapatan 60%	.02050	.019436	.302	-.01961	.06061
	Kerapatan 80%	-.01162	.019436	.555	-.05174	.02849

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets Waktu

Multiple Comparisons

Pb
LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	Hari ke-8	.11450*	.015869	.000	.08175	.14725
	Hari ke-16	.16933*	.015869	.000	.13658	.20209
	Hari ke-24	.23892*	.015869	.000	.20616	.27167
Hari ke-8	Hari ke-0	-.11450*	.015869	.000	-.14725	-.08175
	Hari ke-16	.05483*	.015869	.002	.02208	.08759
	Hari ke-24	.12442*	.015869	.000	.09166	.15717
Hari ke-16	Hari ke-0	-.16933*	.015869	.000	-.20209	-.13658
	Hari ke-8	-.05483*	.015869	.002	-.08759	-.02208
	Hari ke-24	.06958*	.015869	.000	.03683	.10234
Hari ke-24	Hari ke-0	-.23892*	.015869	.000	-.27167	-.20616
	Hari ke-8	-.12442*	.015869	.000	-.15717	-.09166
	Hari ke-16	-.06958*	.015869	.000	-.10234	-.03683

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



Lampiran 20. Output perbandingan konsentrasi Pb dalam akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Pb

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.103 ^a	19	.005	5.083	.000
Intercept	.307	1	.307	288.324	.000
Perlakuan	.007	4	.002	1.592	.215
Waktu	.093	3	.031	28.954	.000
Perlakuan * Waktu	.004	12	.000	.278	.987
Error	.021	20	.001		
Total	.432	40			
Corrected Total	.124	39			

a. R Squared = ,828 (Adjusted R Squared = ,665)

Estimated Marginal Means

1. Perlakuan

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 20%	.092	.012	.068	.116
Kerapatan 40%	.101	.012	.077	.125
Kerapatan 60%	.100	.012	.076	.125
Kerapatan 80%	.077	.012	.053	.101
Kerapatan 100%	.068	.012	.044	.092

2. Waktu

Dependent Variable:Pb

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	.014	.010	-.008	.036
Hari ke-8	.077	.010	.056	.099
Hari ke-16	.119	.010	.098	.141
Hari ke-24	.140	.010	.118	.162

3. Perlakuan * Waktu

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 20%	Hari ke-0	.014	.023	-.034	.062
	Hari ke-8	.086	.023	.038	.135
	Hari ke-16	.129	.023	.081	.178
	Hari ke-24	.138	.023	.089	.186
Kerapatan 40%	Hari ke-0	.014	.023	-.034	.062
	Hari ke-8	.093	.023	.045	.142
	Hari ke-16	.136	.023	.088	.185
	Hari ke-24	.159	.023	.111	.207
Kerapatan 60%	Hari ke-0	.014	.023	-.034	.062
	Hari ke-8	.093	.023	.045	.141
	Hari ke-16	.136	.023	.088	.185
	Hari ke-24	.158	.023	.110	.207
Kerapatan 80%	Hari ke-0	.014	.023	-.034	.062
	Hari ke-8	.050	.023	.002	.099
	Hari ke-16	.107	.023	.059	.156
	Hari ke-24	.137	.023	.089	.185
Kerapatan 100%	Hari ke-0	.014	.023	-.034	.062
	Hari ke-8	.064	.023	.016	.112
	Hari ke-16	.086	.023	.038	.134
	Hari ke-24	.108	.023	.060	.156

Homogeneous Subsets Waktu

Multiple Comparisons

Pb
LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	Hari ke-8	-.06350*	.014604	.000	-.09396	-.03304
	Hari ke-16	-.10520*	.014604	.000	-.13566	-.07474
	Hari ke-24	-.12600*	.014604	.000	-.15646	-.09554
Hari ke-8	Hari ke-0	.06350*	.014604	.000	.03304	.09396
	Hari ke-16	-.04170*	.014604	.010	-.07216	-.01124
	Hari ke-24	-.06250*	.014604	.000	-.09296	-.03204
Hari ke-16	Hari ke-0	.10520*	.014604	.000	.07474	.13566
	Hari ke-8	.04170*	.014604	.010	.01124	.07216
	Hari ke-24	-.02080	.014604	.170	-.05126	.00966
Hari ke-24	Hari ke-0	.12600*	.014604	.000	.09554	.15646
	Hari ke-8	.06250*	.014604	.000	.03204	.09296
	Hari ke-16	.02080	.014604	.170	-.00966	.05126

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



Lampiran 21. Output perbandingan konsentrasi Pb dalam daun kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada tiap kerapatan dan waktu pengamatan

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Pb

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.028 ^a	19	.001	4.167	.001
Intercept	.069	1	.069	192.451	.000
Perlakuan	.002	4	.000	1.369	.280
Waktu	.025	3	.008	23.374	.000
Perlakuan * Waktu	.001	12	.000	.298	.982
Error	.007	20	.000		
Total	.104	40			
Corrected Total	.035	39			

a. R Squared = ,798 (Adjusted R Squared = ,607)

Estimated Marginal Means

1. Perlakuan

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 20%	.051	.007	.037	.065
Kerapatan 40%	.039	.007	.025	.053
Kerapatan 60%	.046	.007	.033	.060
Kerapatan 80%	.040	.007	.026	.054
Kerapatan 100%	.030	.007	.017	.044

2. Waktu

Dependent Variable:Pb

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	.006	.006	-.006	.018
Hari ke-8	.031	.006	.019	.044
Hari ke-16	.057	.006	.045	.070
Hari ke-24	.071	.006	.059	.084

3. Perlakuan * Waktu

Dependent Variable:Pb

Perlakuan	Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Kerapatan 20%	Hari ke-0	.006	.013	-.022	.034
	Hari ke-8	.043	.013	.015	.071
	Hari ke-16	.070	.013	.042	.098
	Hari ke-24	.085	.013	.057	.113
Kerapatan 40%	Hari ke-0	.006	.013	-.022	.034
	Hari ke-8	.033	.013	.006	.061
	Hari ke-16	.052	.013	.024	.080
	Hari ke-24	.064	.013	.036	.092
Kerapatan 60%	Hari ke-0	.006	.013	-.022	.034
	Hari ke-8	.034	.013	.006	.062
	Hari ke-16	.064	.013	.036	.092
	Hari ke-24	.082	.013	.054	.110
Kerapatan 80%	Hari ke-0	.006	.013	-.022	.034
	Hari ke-8	.021	.013	-.006	.049
	Hari ke-16	.057	.013	.030	.085
	Hari ke-24	.077	.013	.049	.104
Kerapatan 100%	Hari ke-0	.006	.013	-.022	.034
	Hari ke-8	.024	.013	-.004	.052
	Hari ke-16	.043	.013	.015	.071
	Hari ke-24	.049	.013	.021	.077

Homogeneous Subsets Waktu

Multiple Comparisons

Pb
LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Hari ke-0	Hari ke-8	-.02520*	.008451	.007	-.04283	-.00757
	Hari ke-16	-.05130*	.008451	.000	-.06893	-.03367
	Hari ke-24	-.06530*	.008451	.000	-.08293	-.04767
Hari ke-8	Hari ke-0	.02520*	.008451	.007	.00757	.04283
	Hari ke-16	-.02610*	.008451	.006	-.04373	-.00847
	Hari ke-24	-.04010*	.008451	.000	-.05773	-.02247
Hari ke-16	Hari ke-0	.05130*	.008451	.000	.03367	.06893
	Hari ke-8	.02610*	.008451	.006	.00847	.04373
	Hari ke-24	-.01400	.008451	.113	-.03163	.00363
Hari ke-24	Hari ke-0	.06530*	.008451	.000	.04767	.08293
	Hari ke-8	.04010*	.008451	.000	.02247	.05773
	Hari ke-16	.01400	.008451	.113	-.00363	.03163

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



**Lampiran 22. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-0)**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839
Email : kimia UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA
NO : A.55/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2015

1 Data Konsumen

Nama Konsumen : Karunia Wahyu Utami

Instansi : Universitas Brawijaya

Alamat : Jln. Watumujur I No. 6 Malang

Telepon : 082230561808

Status : Mahasiswa

Keperluan analisis : Uji kadar logam berat

2 Sampling Dilakukan : Oleh Konsumen

3 Identifikasi Sampel : Hari ke-0

Nama Sampel : Air limbah asbes, akar dan daun kayu apu

Wujud : Cair dan padatan

Warna : air (kuning keruh), akar (coklat), dan daun (hijau segar)

Bentuk : Cair dan padatan

4 Prosedur Analisa : Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-
Universitas Brawijaya Malang

5 Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Secara langsung

6 Tanggal terima Sampel : 03 Februari 2015

7 Data Hasil Analisa :

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Pb	1	Air	0.366 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
Timbal	2	Akar	0.014 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	3	Daun	0.006 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS

Catatan :

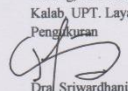
1 Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo

2 Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat ini.



Edi Priyo Utomo, M.S.
196712271986031003

Malang, 05 Februari 2015
Kalab. UPT. Layanan Analisa & Pengukuran



Dra. Sriwardhani, M.S.
NID. 196802261992032001

**Lampiran 23. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-8)**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA**

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839
Email : kimia_UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

NO : A.69/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2015

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 Data Konsumen | |
| Nama Konsumen | : Karunia Wahyu Utami |
| Instansi | : Universitas Brawijaya |
| Alamat | : Jln. Watumujur I No. 6 Malang |
| Telepon | : 082230561808 |
| Status | : Mahasiswa |
| Keperluan analisis | : Uji kadar logam berat |
| 2 Sampling Dilakukan | : Oleh Konsumen |
| 3 Identifikasi Sampel | : Hari ke-8 |
| Nama Sampel | : Air limbah asbes, akar dan daun kayu apu |
| Wujud | : Cair dan padatan |
| Warna | : air (kuning sedikit keruh), akar (coklat), dan daun (hijau segar) |
| Bentuk | : Cair dan padatan |
| 4 Prosedur Analisa | : Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-
Universitas Brawijaya Malang |
| 5 Penyampaian Laporan Hasil Analisis | : Secara langsung |
| 6 Tanggal terima Sampel | : 11 Februari 2015 |
| 7 Data Hasil Analisa | : |

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Pb Timbal	1	Bak 1 Air	0.270 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	2	Akar	0.058 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	3	Daun	0.043 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	4	Bak 2 Air	0.274 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	5	Akar	0.071 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	6	Daun	0.024 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	7	Bak 3 Air	0.244 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	8	Bak 4 Air	0.216 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	9	Akar	0.100 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	10	Daun	0.031 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	11	Bak 5 Air	0.232 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	12	Akar	0.058 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	13	Daun	0.018 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	14	Bak 6 Air	0.294 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	15	Akar	0.029 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	16	Daun	0.012 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	17	Bak 7 Air	0.327 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	18	Bak 8 Air	0.227 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	19	Akar	0.086 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	20	Daun	0.037 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	21	Bak 9 Air	0.253 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	22	Akar	0.057 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	23	Daun	0.024 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	24	Bak 10 Air	0.218 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS

25	Akar	0.115 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
26	Daun	0.043 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
27	Bak 11 Air	0.253 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
28	Akar	0.072 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
29	Daun	0.031 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
30	Bak 12 Air	0.210 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
31	Akar	0.129 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
32	Daun	0.049 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS

Catatan :

- 1 Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
- 2 Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat ini.



Malang, 17 Februari 2015
 Kalab. UPT. Layanan Analisa &
 Pengukuran
 Dra. Sriwardhani, M.S.
 NIP. 196802261992032001

Keterangan:

Bak 1	= kerapatan 20%	(ulangan 2)	Bak 7	= kerapatan 0%	(ulangan 1)
Bak 2	= kerapatan 100%	(ulangan 2)	Bak 8	= kerapatan 60%	(ulangan 2)
Bak 3	= kerapatan 0%	(ulangan 2)	Bak 9	= kerapatan 100%	(ulangan 1)
Bak 4	= kerapatan 60%	(ulangan 1)	Bak 10	= kerapatan 20%	(ulangan 1)
Bak 5	= kerapatan 40%	(ulangan 2)	Bak 11	= kerapatan 80%	(ulangan 2)
Bak 6	= kerapatan 80%	(ulangan 1)	Bak 12	= kerapatan 40%	(ulangan 1)

**Lampiran 24. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-16)**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA**

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839
Email : kimia_UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

NO : A.74/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2015

1 Data Konsumen

Nama Konsumen

: Karunia Wahyu Utami

Instansi

: Universitas Brawijaya

Alamat

: Jln. Watumujur I No. 6 Malang

Telepon

: 082230561808

Status

: Mahasiswa

Keperluan analisis

: Uji kadar logam berat

2 Sampling Dilakukan

: Oleh Konsumen

3 Identifikasi Sampel

: Hari ke-16

Nama Sampel

: Air limbah asbes, akar dan daun kayu apu

Wujud

: Cair dan padatan

Warna

: air (kuning bening), akar (coklat), dan daun (hijau kekuningan)

Bentuk

: Cair dan padatan

4 Prosedur Analisa

: Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-
Universitas Brawijaya Malang

5 Penyampaian Laporan Hasil Analisa

: Secara langsung

6 Tanggal terima Sampel

: 20 Februari 2015

7 Data Hasil Analisa

:

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Pb Timbal	1	Bak 1 Air	0.200 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	2	Akar	0.100 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	3	Daun	0.067 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	4	Bak 2 Air	0.218 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	5	Akar	0.086 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	6	Daun	0.043 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	7	Bak 3 Air	0.185 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	8	Bak 4 Air	0.170 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	9	Akar	0.143 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	10	Daun	0.067 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	11	Bak 5 Air	0.190 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	12	Akar	0.129 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	13	Daun	0.037 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	14	Bak 6 Air	0.235 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	15	Akar	0.043 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	16	Daun	0.024 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	17	Bak 7 Air	0.310 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	18	Bak 8 Air	0.175 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	19	Akar	0.130 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	20	Daun	0.061 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	21	Bak 9 Air	0.180 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	22	Akar	0.086 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	23	Daun	0.043 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	24	Bak 10 Air	0.160 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS

25	Akar	0.159 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
26	Daun	0.073 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
27	Bak 11 Air	0.172 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
28	Akar	0.172 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
29	Daun	0.091 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
30	Bak 12 Air	0.165 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
31	Akar	0.144 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
32	Daun	0.067 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS

Catatan :

- 1 Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
- 2 Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat ini.



Privo Utomo, M.S.
NIP. 195712271986031003

Malang, 26 Februari 2015
Kalab/UPT. Layanan Analisa & Pengukuran

Dra. Sriwardhani, M.S.
NIP. 196802261992032001

Keterangan:

Bak 1	= kerapatan 20%	(ulangan 2)	Bak 7	= kerapatan 0%	(ulangan 1)
Bak 2	= kerapatan 100%	(ulangan 2)	Bak 8	= kerapatan 60%	(ulangan 2)
Bak 3	= kerapatan 0%	(ulangan 2)	Bak 9	= kerapatan 100%	(ulangan 1)
Bak 4	= kerapatan 60%	(ulangan 1)	Bak 10	= kerapatan 20%	(ulangan 1)
Bak 5	= kerapatan 40%	(ulangan 2)	Bak 11	= kerapatan 80%	(ulangan 2)
Bak 6	= kerapatan 80%	(ulangan 1)	Bak 12	= kerapatan 40%	(ulangan 1)

**Lampiran 25. Hasil Analisis Logam berat Pb di Laboratorium kimia analitik
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya (hari ke-24)**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA**

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839
Email : kimia_UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

NO : A.83/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2015

1 Data Konsumen

Nama Konsumen
Instansi
Alamat
Telepon
Status

: Karunia Wahyu Utami
: Universitas Brawijaya
: Jln. Watumujur I No. 6 Malang
: 082230561808
: Mahasiswa

2 Sampling Dilakukan

: Uji kadar logam berat

3 Identifikasi Sampel

Nama Sampel
Wujud
Warna
Bentuk

: Oleh Konsumen
: Hari ke-24
: Air limbah asbes, akar dan daun kayu apu
: Cair dan padatan
: air (kuning bening), akar (coklat), dan daun (kuning kecoklatan)
: Cair dan padatan

4 Prosedur Analisa

: Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-
Universitas Brawijaya Malang

5 Penyampaian Laporan Hasil Analisis

: Secara langsung

6 Tanggal terima Sampel

: 27 Februari 2015

7 Data Hasil Analisa

:

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Pb Timbal	1	Bak 1 Air	0.145 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	2	Akar	0.130 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	3	Daun	0.085 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	4	Bak 2 Air	0.130 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	5	Akar	0.101 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	6	Daun	0.049 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	7	Bak 3 Air	0.115 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	8	Bak 4 Air	0.090 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	9	Akar	0.158 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	10	Daun	0.097 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	11	Bak 5 Air	0.105 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	12	Akar	0.145 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	13	Daun	0.055 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	14	Bak 6 Air	0.165 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	15	Akar	0.086 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	16	Daun	0.037 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	17	Bak 7 Air	0.285 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	18	Bak 8 Air	0.110 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	19	Akar	0.159 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	20	Daun	0.067 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	21	Bak 9 Air	0.097 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	22	Akar	0.115 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	23	Daun	0.049 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	24	Bak 10 Air	0.080 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS

25	Akar	0.145 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
26	Daun	0.085 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
27	Bak 11 Air	0.126 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
28	Akar	0.188 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
29	Daun	0.116 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
30	Bak 12 Air	0.077 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
31	Akar	0.173 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
32	Daun	0.073 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS

Catatan :

- 1 Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
- 2 Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat ini.



DR. Edy Priyo Utomo, M.S.
NIP. 195712271986031003

Malang, 05 Maret 2015

Kalab. UPT. Layanan Analisa & Pengukuran

Dra. Sriwardhani, M.S.
NIP. 196802261992032001

Keterangan:

Bak 1	= kerapatan 20%	(ulangan 2)	Bak 7	= kerapatan 0%	(ulangan 1)
Bak 2	= kerapatan 100%	(ulangan 2)	Bak 8	= kerapatan 60%	(ulangan 2)
Bak 3	= kerapatan 0%	(ulangan 2)	Bak 9	= kerapatan 100%	(ulangan 1)
Bak 4	= kerapatan 60%	(ulangan 1)	Bak 10	= kerapatan 20%	(ulangan 1)
Bak 5	= kerapatan 40%	(ulangan 2)	Bak 11	= kerapatan 80%	(ulangan 2)
Bak 6	= kerapatan 80%	(ulangan 1)	Bak 12	= kerapatan 40%	(ulangan 1)