



DISERTASI

**ANALISIS EFEKTIVITAS TANAMAN HANJUANG (*Cordyline fruticosa*)
DAN PURING (*Codiaeum variegatum*) SEBAGAI FITOREMEDIATOR
PADA TANAH YANG TERCEMAR TIMBAL**

Lina Herlina

NIM 30000215510003

SEKOLAH PASCASARJANA

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2022**



**ANALISIS EFEKTIVITAS TANAMAN HANJUANG (*Cordyline fruticosa*)
DAN PURING (*Codiaeum variegatum*) SEBAGAI FITOREMEDIATOR
PADA TANAH YANG TERCEMAR TIMBAL**

**Disertasi
Untuk memperoleh gelar Doktor
dalam Ilmu Lingkungan pada Universitas Diponegoro**

**Untuk dipertahankan di hadapan
Dekan Sekolah Pascasarjana dan Tim Penguji pada Ujian Tertutup Disertasi
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro pada tanggal empat belas
bulan Maret tahun dua ribu dua puluh dua pukul 13.00 WIB**

SEKOLAH PASCASARJANA

Oleh

**Lina Herlina
NIM 30000215510003
lahir di Bandung**

HALAMAN PEGESAHAN

ANALISIS EFEKTIVITAS TANAMAN HANJUANG (*Cordyline fruticosa*)
DAN PURING (*Codiaeum variegatum*) SEBAGAI FITOREMEDIATOR
PADA TANAH YANG TERCEMAR TIMBAL

Oleh:

Lina Herlina

NIM 30000215510003

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 14 bulan Maret tahun 2022
oleh Tim penguji Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Promotor:

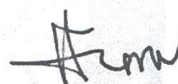


Prof. Dr. Ir. Budi Widianarko, M.Sc.

NRP.0581 1994 157

Tanggal

Ko-Promotor:



Henna Rya Sunoko, Apt.,MES.

NIP. 19520825 197903 2 001

Tanggal

Mengetahui,

Dekan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.

NIP. 19670101 199103 1 005

Ketua Program Studi
Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.

Nl.19750824 199903 1 003

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS EFEKTIVITAS TANAMAN HANJUANG (*Cordyline fruticosa*)
DAN PURING (*Codiaeum variegatum*) SEBAGAI FITOREMEDIATOR
PADA TANAH YANG TERCEMAR TIMBAL**

Oleh:

Lina Herlina
NIM 30000215510003

Telah disetujui oleh :

Pimpinan Sidang:

Dr. R.B. Sularto, S.H, M.Hum.



Sekretaris Sidang

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.

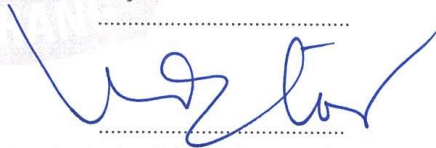


Anggota Tim Penguji

Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si.



Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc., IPU.



Prof. Dr. Ir. Widiyanto, S.U.



Dr. Henna Rya Sunoko, Apt., MES.



Prof. Dr. Ir. Budi Widianarko, M.Sc



Kupersembahkan Disertasi ini untuk:

- Allah, SWT sebagai wujud rasa syukur atas ilmu yang Allah SWT berikan kepadaku
- Bapak Moch Anwar Wangsakusumah (Alm) dan ibu Idah Sadiah yang telah memberikan kasih sayang serta selalu mendoakan
- Suamiku Yudi Hanura dan anak-anakku Nadya Audina Nurkhafiya dan Muhamad Aldi Fahrezi yang setia mendampingi dan selalu memberi dukungan
- Kakak-kakakku atas dukungannya



Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kalian dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui atas apa yang kalian kerjakan.” (QS. Al Mujadilah: 11)

SEKOLAH PASCASARJANA

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lina Herlina
NIM : 30000215510003
Mahasiswa : Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Dengan ini menyatakan bahwa :

- 1) Disertasi yang berjudul “ **Analisis Efektivitas Tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*) dan Puring (*Codiaeum variegatum*) Sebagai Fitoremediator pada Tanah yang Tercemar Timbal** adalah karya ilmiah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (doktor) di perguruan tinggi manapun.
- 2) Disertasi ini adalah murni ide, rumusan dan hasil penelitian saya serta dilakukan tanpa bantuan orang lain, kecuali Tim Promotor dan Tim Penguji.
- 3) Disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan judul aslinya serta dicantumkan dalam daftar pustaka.
- 4) Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh dan sanksi lain sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Semarang, Maret 2022

Yang Membuat Pernyataan



Lina Herlina

KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Allah SWT yang dengan kasih sayang serta Rahmat dan Barokah-Nya penulis dapat menyelesaikan Disertasi yang berjudul "Analisis efektivitas tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*) dan Puring (*Codiaeum variegatum*) sebagai fitoremediator pada tanah yang tercemar timbal" .

Pada kesempatan ini, perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada yang terhormat :

1. Prof. Dr. Yos Johan Utama, S.H., M.Hum., selaku Rektor Universitas Diponegoro, yang telah memberikan bantuan fasilitas dalam mengikuti program Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro.
2. Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum, selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro yang telah berkeanian menguji dan memberi masukan, saran-saran, motivasi untuk menyelesaikan disertasi.
3. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah meberi ijin dan dukungan selama mengikuti Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Dipenogoro
4. Dr. Sugianto, M.Si, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah meberi dukungan dan semangat selama menempuh pendidikan di Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
5. Dr. Budi Waristo, S..Si, MSi., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu

Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro yang memberikan dorongan, semangat, bimbingan, dan arahan untuk penyelesaian disertasi ini

6. Prof. |Dr. Ir. Budi Widianarko, MSc., selaku Promotor yang telah sabar memberikan ilmu, membimbing, memberi saran, serta mengarahkan penulis agar segera menyelesaikan disertasi.
7. Dr. Henna Rya Sunoko, Apt. MES., selaku Ko-Promotor yan telah sabar memberikan bimbingan, memotivasi, mengarahkan, serta meluangkan waktu untuk konsultasi guna penyelesaian disertasi.
8. Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, MSi., selaku penguji eksternal dari UNS yang telah memberikan masukan, kritik dan arahan dalam penyempurnaan disertasi ini
9. Prof. Dr. Hadiyanto, ST. MSc. IPU., selaku penguji insternal yang memberikan masukan, kritik, arahan serta koreksi dalam penyempurnaan disertasi ini
10. Prof. Dr. Ir. WIdiyanto, SU., selaku penguji insternal yang memberikan masukan, kritik dan arahan dalam penyempurnaan disertasi ini
11. Seluruh dosen pengampu pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmunya sebagai penunjang penyusunan disertasi
12. Teman-teman Program Doktor Ilmu Lingkungan angkatan 9, juga teman-teman keluarga besar Program Doktor Ilmu Lingkungan atas bantuan , dukungan dalam penyusunan disertasi, staf Pascasarjana Undip maupun staf dan pengelola Prodi Doktor Ilmu Lingkungan
13. Teman-teman Dosen Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang,

atas bantuan dan dukunganb selama penyelesaian studi pada Program Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

14. Ibu serta Bapak (Alm) penulis yang senantiasa menyemangati dan mendoakan untuk menyelesaikan Pendidikan Program Doktor Ilmu Lingkungan
15. Suami serta putri dan putra penulis yang senantiasa mendampingi selama penelitian dan penulisan
16. Direktorat Jendral Sumberdaya Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa BPPDN dan Penelitian Disertasi Doktor (PDD)

Semoga Allah SWT membalas dengan limpahan kebaikan dan keberkahan kepada semua pihak yang sudah membantu penulisan disertasi ini dan semoga disertasi ini bermanfaat yang memerlukannya.

Semarang, Maret 2022

Penulis

SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR SINGKATAN.....	xix
GLOSARIUM.....	xxii
ABSTRAK.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
RINGKASAN	xxvii
SUMMARY	xxx1
BAB I. PENDAHULUAN	1
A Latar Belakang	1
B Pertanyaan Penelitian	6
C Orisinalitas	7
D Tujuan Penelitian.....	20
E Manfaat Penelitian.....	21
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	22
A Fitoremediasi	22

B	Sifat Kimia dan Fisik Tanah	32
C	Karakteristik dan Toksisitas Timbal terhadap Organisme	35
D	Toleransi Tanaman Terhadap Timbal	40
E	Tanaman Hias	44
BAB III.	KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS	50
A	Kerangka Teori	50
B	Kerangka Konsep	54
C	Hipotesis	55
BAB IV.	METODE PENELITIAN	56
A	Tempat dan Waktu Penelitian	56
B	Desain Penelitian	56
C	Populasi dan Sampel	57
D	Variabel Penelitian	77
E	Materi Penelitian	61
F	Teknik Pengumpulan Data	61
G	Analisis Data	69
H	Alur Penelitian	70
BAB V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	72
A	Hasil	72
1	Hasil Analisis Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah	72
2	Pengaruh Timbal Terhadap Biomasa <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	74
3	Akumulasi Timbal pada <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	86
4	Faktor Translokasi Tanaman (TF) dan Faktor Bioakumulasi (BAF) <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	99
5	Indek Toleransi Logam <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	102

6	Kandungan Klorofil <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	103
7	Aktivitas Enzim Antioksidan <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	105
8	Korelasi TF, BAF, Aktivitas Katalase, Aktivitas Askorbat dan Klorofil <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	111
B	Pembahasan	114
1	Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah	114
2	Pertumbuhan <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	117
3	Kandungan Timbal <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	125
4	Faktor Translokasi dan Faktor Bioakumulasi <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	133
5	Indeks Toleransi Logam <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	138
6	Kandungan klorofil <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	139
7	Aktivitas Enzim Antioksidan <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i>	143
8	Aplikasi Desain Fitoremediasi	146
BAB VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	150
A	Kesimpulan	150
B	Saran	152
DAFTAR PUSTAKA	153

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme penyerapan logam	28
Gambar 2.2.	Respon tanaman terhadap toksisitas Pb	43
Gambar 2.3.	Tanaman Hanjuang (<i>Cordyline fruticosa</i>)	46
Gambar 2.4.	Tanaman Puring (<i>Codiaeum variegatum</i>)	48
Gambar 3.1.	Kerangka teori penelitian	53
Gambar 3.2.	Kerangka konsep	54
Gambar 4.1.	Alur penelitian	71
Gambar 5.1.	Biomassa akar (mg) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan tanah liat berdebu	74
Gambar 5.2.	Biomassa batang (mg) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	76
Gambar 5.3.	Biomassa daun (mg) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	79
Gambar 5.4.	Biomassa akar (mg) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.	81
Gambar 5.5.	Biomassa batang (mg) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai tingkat lama paparan dan konsentrasi Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.	83
Gambar 5.6.	Biomassa daun (mg) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	85
Gambar 5.7.	Kandungan Pb pada akar (mg.kg^{-1}) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.	87

Gambar 5.8.	Kandungan Pb pada batang (mg.kg^{-1}) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	88
Gambar 5.9.	Kandungan Pb pada daun (mg.kg^{-1}) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	90
Gambar 5.10.	Kandungan Pb pada tanah (mg.kg^{-1}) <i>Cordyline fruticose</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan tanah liat berdebu	91
Gambar 5.11.	Kandungan Pb pada akar (mg.kg^{-1}) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	93
Gambar 5.12.	Kandungan Pb pada batang (mg.kg^{-1}) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	94
Gambar 5.13.	Kandungan Pb pada daun (mg.kg^{-1}) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	96
Gambar 5.14.	Kandungan Pb dalam tanah (mg.kg^{-1}) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) berbagai tingkat pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	97
Gambar 5.15.	Kandungan klorofil total <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	104
Gambar 5.16.	Kandungan klorofil total <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	105
Gambar 5.17.	Aktivitas askorbat (unit/g) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	106

Gambar 5.18.	Aktivitas katalase (unit/g) <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	107
Gambar 5.19.	Aktivitas askorbat (unit/g) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	108
Gambar 5.20.	Aktivitas katalase (μ /mg) <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.....	110
Gambar 5.21.	Diagram desain aplikasi fitoremediasi di tanah tercemar logam	149



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Penelitian terdahulu	9
Tabel 4.1.	Matrik definisi operasional variabel	60
Tabel 5.1.	Karakteristik fisika dan kimia tanah	73
Tabel 5.2.	Laju perubahan biomassa akar <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.....	75
Tabel 5.3.	Laju perubahan biomassa batang <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.	77
Tabel 5.4.	Laju perubahan biomassa daun <i>Cordyline fruticosa</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	80
Tabel 5.5.	Laju perubahan biomassa akar <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	82
Tabel. 5.6.	Laju perubahan biomassa batang <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	83
Tabel 5.7.	Laju perubahan biomassa daun <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata \pm SD) pada berbagai berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	85


Tabel 5.8.	Kandungan Pb total <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata±SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	98
Tabel 5.9.	Faktor Translokasi (TF) <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata±SD berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	100
Tabel 5.10.	Faktor Bioakumulasi (BAF) <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata± SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu.	101
Tabel 5.11.	Indeks Toleransi Logam (MTI) <i>Cordyline fruticosa</i> dan <i>Codiaeum variegatum</i> (rata-rata SD) pada berbagai konsentrasi dan durasi paparan Pb di tanah lempung dan di tanah liat berdebu	103
Tabel 5.12.	Korelasi antara TF, BAF, aktivitas CAT, aktivitas APX dan klorofil <i>Cordyline fruticosa</i> di tanah lempung	111
Tabel 5.13.	Korelasi antara TF, BAF, aktivitas CAT, aktivitas APX dan klorofil <i>Cordyline fruticosa</i> di tanah liat berdebu	112
Tabel 5.14.	Korelasi antara TF, BAF, aktivitas CAT, aktivitas APX dan klorofil <i>Codiaeum variegatum</i> di tanah lempung	113
Tabel 5.15.	Korelasi antara TF, BAF, aktivitas CAT, Aktivitas APX dan klorofil <i>Codiaeum variegatum</i> di tanah liat berdebu	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data suhu dan Kelembaban	167
Lampiran 2	Data pH Tanah	168
Lampiran 3	Data biomassa tanaman Hanjuang (<i>Cordyline fruticosa</i>)	169
Lampiran 4	Data biomassa tanaman Puring (<i>Codiaeum variegatum</i>)	170
Lampiran 5	Data kandungan Pb Tanaman Hanjuang (<i>Cordyline fruticosa</i>)	171
Lampiran 6	Data kandungan Pb Puring (<i>Codiaeum variegatum</i>)	172
Lampiran 7	Data kandungan klorofil	173
Lampiran 8	Data aktivitas enzim antioksidan tanaman Hanjuang (<i>Cordyline fruticosa</i>) dan tanaman Puring (<i>Codiaeum variegatum</i>)	174
Lampiran 9	Contoh analisis data statistik	175
Lampiran 10	Foto-foto penelitian	178

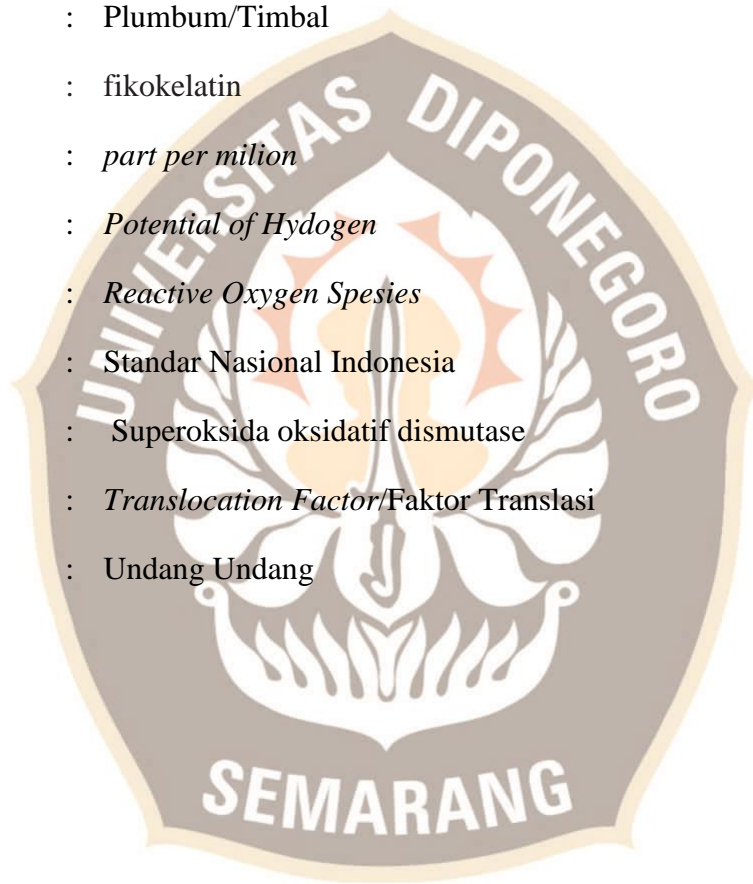
SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR SINGKATAN



<i>C. fruticosa</i>	:	<i>Cordyline fruticosa</i> (Hanjuang)
<i>C. variegatum</i>	:	<i>Codiaeum variegatum</i> (Puring)
AAS	:	<i>Atomic Absorption Spectroscopy</i>
APTI	:	<i>Air Pollutant Tolerance Index</i> / Indeks Toleransi Polusi Udara
Al	:	Aluminium
APX	:	<i>Askorbat Peroksidase</i>
As	:	Arsen
ASA	:	Antioksidan Asam Askorbat
Fe	:	Ferrum/Besi
BAF	:	<i>Bioacumulation Factor</i> /Faktor Bioakumulasi
⁰ C	:	Derajat Celsius
CAT	:	<i>Catalase</i> /Katalase
Cd	:	Cadmium
g	:	gram
HCl	:	Asam Klorida
Hg	:	Hydragyrum/ Raksa
HNO ₃	:	Asam Nitrat
HClO ₄	:	Asam
KTK	:	Kapasitas Tukar Kation

Kl	: Klorofil
Mg	: Magnesium
mg	: Miligram
MTI	: <i>Metal Tolerance Index</i> / Indeks Toleransi Logam
nm	: nanometer
Pb	: Plumbum/Timbal
PCs	: fikokelatin
ppm	: <i>part per milion</i>
pH	: <i>Potential of Hydrogen</i>
ROS	: <i>Reactive Oxygen Spesies</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SOD	: Superoksida oksidatif dismutase
TF	: <i>Translocation Factor</i> /Faktor Translasi
UU	: Undang Undang



SEKOLAH PASCASARJANA

GLOSARIUM

AAS adalah *Atomic Absorption Spectroscopy*, merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas.

Antioksidan merupakan molekul yang mampu memperlambat atau mencegah proses oksidasi molekul lain

Askorbat peroksidase adalah enzim utama dalam siklus askorbat yang berperan pengubahan H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2

Bahan organik adalah fraksi organik pada tanah yang berasal dari sisa-sisa hewan atau tanaman

Bioakumulasi adalah akumulasi suatu bahan kimia dalam suatu makhluk hidup sampai suatu kepekatan yang tinggi daripada yang ada dalam suatu sumber dari luar

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuhan, hewan dan produk sampingnya seperti sampah, kebu, hasil panen dan sebagainya

Difusi adalah Proses perpindahan suatu zat baik cair, gas dan padat dalam tumbuhan difusi penyerapan nutrient dari larutan tanah masuk ke sel akar melalui membran sel.

Endodermis adalah lapisan paling dalam pada bagian korteks yang mempunyai dinding sel yang tebal serta membatasi antara korteks dan silinder pusat

Enzim antioksidan sebagai sistem pertahanan penting dari stres oksidatif tanaman yang disebabkan oleh logam

Excluder adalah tumbuhan secara efektif dapat membatasi tingkat translokasi logam berat dari tubuhnya dengan mempertahankan konsentrasi yang relatif

rendah pada tunas, akan tetapi tumbuhan tersebut masih bisa mengakumulasi logam dalam bagian akarnya

Faktor bioakumulasi (BAF) adalah faktor yang digunakan untuk menyatakan kemampuan tanaman dalam mengakumulasi kontaminan pada organ tubuh dari media tanam

Faktor translokasi (TF) adalah faktor yang digunakan untuk menyatakan kemampuan tanaman untuk menyerap kontaminan melalui akar dan kemudian menstraslokasikannya dari akar ke organ bagian atas tanaman

Fitoekstraksi adalah penyerapan pencemar/ logam berat oleh tanaman dari air atau tanah melalui akar yang kemudian disimpan di bagian tajuk tanaman.

Fitokelatin adalah senyawa yang berfungsi membentuk kompleks dengan logam berat dalam tumbuhan dan berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap tumbuhan dari logam berat

Fitoremediasi adalah sistem dimana tanaman tertentu dapat mengubah zat kontaminan menjadi kurang atau tidak berbahaya.

Fitostabilisasi adalah kemampuan akar untuk mentransformasi pencemar di dalam tanah menjadi senyawa non toksik

Floem adalah jaringan pengangkut pada tumbuhan yang berfungsi untuk mendistribusikan hasil fotosintesis ke seluruh jaringan tumbuhan

Fotosintesis adalah proses metabolisme tumbuhan, menghasilkan senyawa organik pada organ kloroplast dengan mengubah oksigendan air yang terjadi dengan adanya cahaya matahari.

Hyperakumulator adalah spesies tanaman dapat mengakumulasi logam berat pada jaringan di atas tanah pada konsentrasi

Indeks Toleransi logam adalah kemampuan tanaman yang tumbuh pada konsentrasi logam dibandingkan dengan kontrol

Kapasitas tukar kation (KTK) adalah kemampuan suatu tanah untuk mempertahankan ion logam yang berhubungan erat dengan kesuburan tanah.

Katalase adalah suatu oxido-reductase yang memecah H_2O_2 dan mengubahnya menjadi O_2 dan H_2O dalam peroksisom dan mitokondria

Klorofil adalah pigmen utama dalam proses fotosintesis yang terdiri dari klorofil a dan b

Klorosis adalah gejala pada daun yang kekurangan kadar klorofil, gejala ini terjadi karena logam berat yang menghambat unsur mg dan Fe yang diperlukan dalam pembentukan klorofil.

Logam berat adalah kelompok unsur logam dengan massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 yang pada tingkat tertentu menjadi bahan beracun dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup

Indeks toleransi logam adalah kemampuan tanaman dalam beradaptasi, tumbuh dan bertahan pada media yang terkontaminasi logam

Nektrosis adalah gejala yang tampak pada daun berupa bercak kering di ujung atau tepi daun

Permeabilitas tanah adalah sifat tanah untuk mengalirkan air dan udara

pH adalah parameter yang menyatakan tingkat keasaman tanah

Porositas tanah adalah fraksi pada jumlah volume tanah yang diambil melalui ruangpori yang menyatakan kuantifikasi jumlah ketersediaan ruang untuk cair dan uadara di dalam tanah

ROS adalah senyawa beracun yang dihasilkan dari metabolisme aerob selama transfer elektron yang berlangsung di mitokondria, kloroplas dan peroksisom.

Tanaman hias adalah Tanaman hias merupakan tanaman yang memiliki nilai keindahan baik bunga batang, daun percabangan maupun aroma yang menimbulkan kesan artistik atau kesan seni

Tekstur tanah adalah tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena adanya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, lilat dan debu yang terkandung dalam tanah

Toksisitas adalah tingkat dimana suatu senyawa beracun dapat membahayakan makhluk hidup.

Transpirasi adalah proses perubahan air menjadi uap yang keluar melalui stomata, lentisel atau kutikula. Besarnya transpirasi tergantung dari kelembaban, suhu, kecepatan angin dan sinar matahari serta jenis tumbuhan.

Unsur esensial adalah suatu unsur atau senyawa kimia yang diperlukan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme, apabila tumbuhan kekurangan salah satu unsur esensial, akan menyebabkan penghambatan pertumbuhan pada tanaman.

Unsur makro adalah unsur atau senyawa yang diperlukan dalam jumlah yang besar dan penting untuk pertumbuhan tanaman

Unsur mikro adalah unsur atau senyawa yang diperlukan dalam jumlah kecil, berkaitan dengan kerja enzim

Xilem adalah jaringan pengangkut yang berfungsi untuk menangkut air dari akar yang akar digunakan untuk fotosintesis dan proses kimia lain.



SEKOLAH PASCASARJANA

Abstrak

Tanaman hias memiliki fungsi ekologi, sosial, dan estetika. Selain memiliki manfaat ekonomis, tanaman hias juga dapat mengakumulasi logam dan memperbaiki tanah yang tercemar. Tujuan umum penelitian adalah menganalisis efektivitas tanaman hias *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* sebagai fitoremediator logam timbal. Penelitian dilakukan dengan 3 tahapan pertama pembibitan tanaman, kedua adaptasi tanaman selama 2 minggu dan ketiga pemaparan timbal dengan konsentrasi 250 mg.kg^{-1} dan 375 mg.kg^{-1} di tanah lempung dan di tanah liat berdebu. Pengukuran Biomassa tanaman, konsentrasi timbal pada organ tanaman dan tanah, kadar pigmen fotosintesis dan aktivitas enzim antioksidan dilakukan setiap 1 bulan hari selama 3 bulan. Paparan timbal berpengaruh signifikan terhadap biomassa tanaman, akumulasi timbal tanaman, aktivitas enzim antioksidan sedangkan tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan klorofil *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* baik di tanah lempung maupun di tanah liat berdebu. Nilai TF pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* lebih dari 1 di tanah lempung. Nilai BAF pada *Cordyline fruticosa* berkisar 0,33-1,01 di tanah lempung sedangkan di tanah liat berdebu berkisar 0,33-1,47, nilai BAF *Codiaeum variegatum* berkisar 0,35 – 1,11 di tanah lempung dan di tanah liat berdebu berkisar 0,40-1,04. *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* toleran terhadap timbal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah mekanisme fitoremediasi *Cordyline fruticosa* adalah fitoekstraksi di tanah lempung dan fitostabilisasi di tanah liat berdebu, dan mekanisme fitoremediasi *Codiaeum variegatum* adalah fitoekstraksi baik di tanah lempung dan di tanah liat berdebu. *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* toleran pada tanah yang tercemar timbal dan menghasilkan aktivitas antioksidan sebagai respon terhadap kadar toksik timbal

Kata kunci: Fitoremediasi, Pb, kinerja fitoremediator, *Cordylinefruticosa*, *Codiaeum variegatum*

Abstract

The ornamental plant has ecological, social, and aesthetic functions. Besides have an economical benefit, ornamental plants also accumulate metals and repairing contaminated soil. The general research objective was to analyze the effectiveness of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* as lead metal phytoremediators. The research consists three stages. First, plant nursery. Second, plants adaptation for two weeks, and third, lead exposure with the concentration of 250 mg.kg⁻¹ and 375 mg.kg⁻¹ on clay and dusty clay. Measurement of plant biomass, lead concentration in plant organs and soil, levels of photosynthetic pigments, and antioxidant enzyme activity were carried out every 30 days for 3 times. Lead exposure had a significant effect on plant biomass, plant lead accumulation, antioxidant enzyme activity, while it had no significant effect on chlorophyll content both in clay and dusty clay soils. The TF value for *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* was more than one in clay soil. BAF values in *Cordyline fruticosa* ranged from 0.33-1.01 in clay soils while in dusty clays ranged from 0.33-1.47, BAF values of *Codiaeum variegatum* ranged from 0.35-1.11 in clay soils and in dusty clays ranged from 0,40-1.04. *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* are lead tolerant. The conclusion of this study is that the phytoremediation mechanism of *Cordyline fruticosa* is phytoextraction in clay soil and phytoremediation in dusty clay, and the phytoremediation mechanism of *Codiaeum variegatum* is phytoextraction both in clay and dusty clay. *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* are tolerant of lead contaminated soil and produce antioxidant activity in response to lead toxic levels.

Keywords: Phytoremediation, Pb, phytoremediator performance, *Cordyline fruticosa*, *Codiaeum variegatum*

SEKOLAH PASCASARJANA

RINGKASAN

Fitoremediasi merupakan penggunaan tanaman untuk pembersihan tanah, sedimen, atau air yang terkontaminasi (Paz-Alberto. 2013). Aplikasi di lapangan sering dipadukan dengan berbagai jenis tumbuhan yang memiliki karakteristik yang berbeda (Hidayati, 2013). Tanaman dapat mengubah polutan melalui beberapa proses seperti adsorpsi, transpor dan translokasi (Pandey et al, 2014), dengan demikian, perlindungan sumber daya tanah dari kerusakan lebih lanjut melalui fitoremediasi berkelanjutan dari tanah yang terkontaminasi logam berat sangat diperlukan (Kuppens et al., 2014; Nie et al., 2010).

Kelebihan penggunaan tumbuhan dalam perbaikan lingkungan yang tercemar antara lain efektivitas dalam pengurangan kontaminan, dapat diterapkan pada areal yang luas, dan mudah dirawat. Pertumbuhannya cepat dengan produksi biomassa tinggi, ramah lingkungan serta lebih ekonomis (Van Aken, 2009; Ali et al., 2013; Pandey et al, 2012). Efisien (Pandey, 2012; Zhang et al., 2012; Sinha *et al.*, 2013) dan hemat biaya (Santriyana, 2013; Kumar, 2013). Kelebihan lain pertumbuhan dan perkembangan tanaman mudah dimonitor dan tidak merusak lingkungan (Tangahu et al., 2011).

Keterbatasan fitoremediasi diantaranya memerlukan waktu yang lama untuk meremediasi daerah terkontaminasi, keterbatasan lokasi karena hanya daerah yang terjangkau oleh akar tanaman, efisiensi fitoremediasi dibatasi oleh tingkat pertumbuhan yang lambat dan biomassa rendah, serta tergantung kondisi iklim dan adanya risiko kontaminasi pada rantai makanan apabila tanaman di makan oleh konsumen kedua (Karami dan Syamsuddin, 2010; Mukhopadhyay dan Maiti, 2010; Naees et al 2011; Ramamurthy dan Memarian, 2012).

Fungsi tanaman hias meliputi fungsi ekologis, sosial dan estetika, tanaman hias yang dapat mengakumulasi logam mempunyai manfaat ekonomis yaitu selain untuk memperbaiki lingkungan yang terkontaminasi juga dapat mempercantik lingkungan pada saat yang sama. Hal ini merupakan keuntungan khusus tanaman hias yang berbeda dari hiperakumulator lainnya (Nahed et al., 2015).

Penelitian fitoremediasi terdahulu yang berkaitan dengan tanaman hias *Codiaeum variegatum* dan *Cordyline fruticosa* antara lain Haryanti (2013) melaporkan kemampuan menyerap dan efisiensi penyerapan logam Pb paling banyak pada tanaman hanjuang. Hasil penelitian Sidauruk (2015) serapan logam Pb *Codiaeum. variegatum* lebih tinggi pada kawasan industri. Pangesti et al., (2012) melaporkan terdapat korelasi glutation dan APTI sebagai indikator pencemaran SO₂ pada puring. Kurniawan (2016) menguji serapan logam Cd dari asap rokok dan Yusnani (2012) meneliti penyerapan logam timbal pada udara ambien.

Hingga saat ini belum ada penelitian yang melaporkan secara lengkap mengenai mengenai potensi tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* dalam mengakumulasi logam timbal dan toksisitas logam terhadap kedua tanaman. Dengan mengkaji secara morfologi, fisiologi dan biokimia sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam penggunaan dan pemanfaatan kedua tanaman tersebut dalam remediasi logam timbal, sehingga orisinalitas penelitian ini adalah akan meninjau mekanisme, kinerja fitoremediasi, pertumbuhan, fisiologi dan biokimia tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* dalam tanah yang tercemar Pb.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) menguji pengaruh timbal terhadap pertumbuhan tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*; (2) menganalisis kemampuan akumulasi timbal pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*; (3) menganalisis kemampuan translokasi timbal pada; (4) menganalisis indeks toleransi timbal tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*; (5) menganalisis pengaruh paparan timbal terhadap kadar klorofil *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*; (6) menganalisis pengaruh paparan timbal terhadap aktivitas enzim antioksidan *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*; (7) memformulasikan aplikasi rancangan fitoremediasi tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* pada lapangan.

Tanah yang digunakan dalam penelitian bertekstur tanah lempung dan tanah liat berdebu. Tanaman di tanam pada pot berukuran 20 cm x 15 cm, media

tanam yang digunakan terdiri dari 1500 g tanah dan 500 g vermikompos. Prosedur pemaparan logam Pb terhadap tanaman dalam pot diadaptasi dari Tauqeer (2016). Parameter yang diukur untuk setiap organ tanaman adalah biomassa, kandungan logam Pb di dalam organ tanaman dan tanah, kadar klorofil, dan aktivitas enzim antioksidan setelah tanaman dipanen selama 1, 2 dan 3 bulan terpapar logam Pb (NO_3)₂. Analisis kandungan logam Pb dalam akar, batang dan daun, kadungan klorofil, aktivitas enzim oksidatif dengan tiga kali ulangan dilakukan dengan menggunakan Anova dua jalan dan dengan uji lanjut LSD.

Biomassa biomasa akar, batang dan daun *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* di tanah lempung dan tanah liat berdebu menurun sejalan dengan meningkatnya konsentrasi timbal. Biomasa *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* di tanah lempung lebih tinggi dari pada di tanah liat berdebu. Terjadi peningkatan biomassa baik akar, batang dan daun *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* selama 3 bulan paparan, hal ini secara tidak langsung menunjukkan sifatnya kemampuan untuk menahan stres Pb, sedangkan serapan Pb yang meningkat dan akumulasi dalam jaringan tanaman dengan meningkatnya konsentrasi dalam media tanam sehingga menyebabkan efek penghambatan biomassa. Secara umum, kenaikan atau penurunan biomassa disebabkan oleh variasi spesies tumbuhan, waktu tekanan logam dan jenis tanah (Malar et al., 2014).

Kandungan timbal pada akar > batang > daun, pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* baik yang ditanaman di tanah lempung maupun di tanah liat berdebu. Kandungan timbal *Cordyline fruticosa* di tanah liat berdebu lebih tinggi daripada di tanah lempung, sedangkan kandungan timbal *Codiaeum variegatum* lebih tinggi di tanah lempung. *Cordyline fruticosa* memiliki kemampuan menyerap dan mengakumulasi timbal lebih baik di tanah liat berdebu sedangkan pada *Codiaeum variegatum* penyerapan dan akumulasi timbal lebih baik di tanah lempung. Hal ini disebabkan adanya sintesis fitokelatin dan pembentukan Pb phytochelatin kompleks dalam jaringan akar tanaman (Andra et al. 2009) juga karena pembentukan struktur ligno-selulosa di akar yang membantu tanaman menyerap Pb secara efektif (Marmioli et al. 2005). Serapan

logam dipengaruhi oleh karakteristik spesies tumbuhan, pada saat penyerapan adanya perbedaan dalam pembentukan enzim reduktase pada membran akar (Hazrat et al., 2013)

Faktor translokasi dan faktor bioakumulasi menentukan kinerja fitoremediasi Tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* memiliki nilai TF lebih dari 1 di tanah lempung, kecuali pada *Cordyline fruticosa* selama paparan 3 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* merupakan tanaman akumulator dengan mekanisme fitoekstraksi. Nilai TF *Codiaeum variegatum* di tanah liat berdebu lebih dari 1, hal ini menunjukkan bahwa *Codiaeum variegatum* bersifat akumulator dengan mekanisme fitoekstraksi, sedangkan *Cordyline fruticosa* mempunyai nilai TF kurang dari satu sehingga bersifat akumulator dengan mekanisme fitostabilisasi, kecuali pada paparan timbal 375 mg.kg^{-1} pada durasi 3 bulan. Faktor translokasi berbeda untuk spesies tumbuhan (Liu et al., 2010) begitu juga pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*, hal ini terjadi karena adanya perbedaan proses fisiologis dan biokimia serta ekspresi gen yang mengendalikan penyerapan, akumulasi dan translokasi serta toleransi tanaman terhadap logam (Hidayati 2013).

Nilai BAF *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* di tanah lempung mempunyai nilai kurang dari 1 kecuali pada *Cordyline fruticosa* yang terpapar timbal 250 mg.kg^{-1} dan *Codiaeum variegatum* yang terpapar timbal 375 mg.kg^{-1} selama durasi 3 bulan. Nilai BAF di tanah liat berdebu pada *Cordyline fruticosa* lebih dari 1 yang terpapar timbal pada durasi 3 dan *Codiaeum variegatum* yang terpapar timbal 375 mg.kg^{-1} dengan durasi 1. Jumlah timbal yang diserap tanaman dipengaruhi oleh pH, bahan organik, dan kandungan fosfor tanah. pH tanah lempung sekitar 6.61 sedangkan pada tanah liat berdebu sekitar 5.4, pH tinggi menyebabkan logam timbal menjadi senyawa yang mengendap. Penyerapan timbal oleh akar tanaman terjadi apabila timbal dalam tanah dalam bentuk senyawa terlarut (Zhang et al., 2018). Nilai BAF >1 dan nilai TF >1, hal ini menggambarkan potensi spesies tanaman dalam mempertahankan logam di akarnya dan mentranslokasikan. *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*

memiliki kemampuan untuk mengekstraksi Pb dari tanah dan menyimpannya di akar, batang dan daun.

Nilai indeks toleransi (MTI) *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* berkisar antara $75 \leq 100$, berdasarkan nilai indeks toleransi maka *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* diidentifikasi sebagai tanaman yang toleransi Pb. Tanaman yang adaptif pada saat menyerap logam membentuk enzim reduktase pada akar, dimana enzim tersebut berfungsi untuk mereduksi logam yang kemudian logam tersebut diangkut di dalam membran akar (Arisusanti & Pirwani, 2013)

Peningkatan konsentrasi Pb menurunkan kadungan klorofil total pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum*, tetapi penurunan tidak berbeda nyata baik pada tanah lempung maupun tanah liat berdebu. Penurunan ini disebabkan adanya gangguan pada foton transpor elektron dan menghambat aktivitas protochlorophyllide reductase (Aibibu et al.2010).

Aktivitas enzim antioksidan katalase (CAT), dan askorbat peroksidase (APX) pada *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* meningkat secara signifikan pada peningkatan konsentrasi Pb lama paparan Pb baik pada tanah lempung maupun liat berdebu. Aktivitas enzim antioksidan berperan dalam memerangi radikal-radikal bebas oleh spesies oksigen reaktif (ROS) yang diakibatkan oleh cekaman logam berat (Malar et al., 2014). Enzim katalase (CAT) berperan dalam menurunkan kelebihan ROS yang terjadi akibat cekaman logam Pb dan askorbat peroksidase (APX) berperan dalam perubahan H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 .

Tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* dapat direkomendasikan sebagai penyerap timbal, yang dapat ditanam di perumahan atau di jalan protokol. Semua organ tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* (akar, daun, batang) dapat menyerap polutan, sehingga dengan penanaman tanaman *Cordyline fruticosa* dan *Codiaeum variegatum* maka lingkungan sehat di perkotaan dapat terwujud

SUMMARY

Phytoremediation is plants utilization for cleaning soil, sediment, or contaminated water (Paz-Alberto. 2013). In the field, the Applications of phytoremediation are often combined with various types of plants that have different characteristics (Hidayati, 2013). Plants can change pollutants through several processes such as adsorption, transport and translocation, hyperaccumulation or transformation, and mineralization (Pandey et al, 2014). Thus, protection of soil resources from further damage through continuous phytoremediation of soil contaminated with heavy metals is essential (Kuppens et al., 2014; Nie et al., 2010).

The advantages of using a plant to restore a polluted environment include their effectiveness in reducing contaminants can be applied to large areas, and are easy to maintain, fast-growing with high biomass production, environment-friendly, inexpensive (Van Aken, 2009; Ali et al., 2013; Pandey et al, 2012), efficient (Pandey, 2012; Zhang et al., 2012; Sinha et al., 2013) and cost-effective (Santriyana, 2013; Kumar, 2013). Easy to monitor and does not harm the environment are another advantage of plant utilization. (Tangahu et al., 2011).

Yet, the phytoremediation had some limitations, they need a long time to remediate a contaminated area and have limited location because the area remediation only the covered area by plant roots. The phytoremediation efficiency is limited by slow growth rates and low biomass, depending on climatic conditions and the risk of contamination in the food chain by the chance the plant eating by the second consumer (Karami and Syamsuddin, 2010; Mukhopadhyay and Maiti, 2010; Naees et al 2011; Ramamurthy and Memarian, 2012).

The functions of ornamental plants include ecological, social, and aesthetic functions. Ornamental plants can accumulate metals and have economic benefits. Besides the ornamental plant repairing the contaminated environment, at the same time, they also beautify the environment. It is a special advantage of ornamental plants that has different from other hyperaccumulators (Nahed et al., 2015).

Previous research about phytoremediation related to ornamental plants *Codiaeum variegatum* and *Cordyline fruticosa*, are Haryanti (2013) reported the ability to absorb and absorption efficiency of lead metal at various in hanjuang plants. The results of Sidauruk's (2015) study showed that the uptake of Pb *Codiaeum variegatum* was high in industrial areas. Pangesti et al., (2012) reported a correlation between glutathione and APTI as an indicator of SO₂ contamination in croton. Kurniawan (2016) examined the absorption of Cd metal from cigarette smoke and Yusnani (2012) examined the absorption of lead metal in ambient air.

There has been no complete research on the potential of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* in accumulating lead metal and metal toxicity to both plants. By studying the morphology, physiology, and biochemistry, it can be considered in using and utilization of the two plants in lead metal remediation. The originality of this study is reviewing the mechanism, phytoremediation performance, growth, physiology, and biochemistry of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* plants in soil contaminated with lead.

The research objectives were (1) to examine the effect of lead on the plant growth, *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; (2) to analyze the lead accumulation of plant *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; (3) to analyze the translocation of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; (4) to examine the index of tolerance for *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; (5) analyze the effect of lead exposure on chlorophyll levels of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; (6) to analyze the effect of lead exposure on the antioxidant enzyme activity of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*; and (7) to formulate application of the phytoremediation design of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*.

The textured soil used in this research was loamy clay and dusty clay. Crops planted in pots size 20 cm x 15 cm. The planting medium consists of 1500 g of soil and 500 g of vermicompost. The procedure for the exposure of Pb metal to potted plants was adapted from Tauqeer (2016). The parameters measured for each plant organ were biomass, Pb metal content in plant organs and soil, chlorophyll content, and antioxidant enzyme activity after harvesting the plants

for 1, 2, and 3 months of exposure to $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ metal. Pb's content then analyzes in roots, leaves, and stems, chlorophyll content, oxidative enzyme activity with three replications and was carried out using two-way ANOVA and with LSD to further test.

In dusty loam and clay soils, the biomass of roots, stems, and leaves of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* decreased in line with increasing lead concentration. The biomass of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* in clay soils is higher than in dusty clay. There was an increase in the biomass of both roots, stems, and leaves in *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* during 3 months of exposure. Indirectly, it indicates the ability to withstand Pb stress, while Pb uptake increases and accumulates in plant tissue with increasing concentrations in the cropping media and thereby causing a biomass inhibitory effect. In general, increasing and decreasing in biomass is caused by variations in plant species, metal pressure times, and soil types (Malar et al., 2014).

Lead content in roots > stem > leaves, in *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* both grown on clay soil and in dusty clay soil. The lead content of *Cordyline fruticosa* in dusty clay is higher than that in clay soil, while the lead content of *Codiaeum variegatum* is higher in clay soil. *Cordyline fruticosa* has the ability to absorb and accumulate lead better in clay soils, while *Codiaeum variegatum* absorbs and accumulates lead better in clay soils. This is due to the synthesis of phytochelin and the formation of Pb phytochelatin complex in plant root tissue (Andra et al. 2009) as well as the formation of lignocellulose structures in the roots which effectively help plants absorb Pb (Marmioli et al. 2005). Metal absorption is influenced by the characteristics of plant species, at the time of absorption there are differences in the formation of the reductase enzyme in the root membrane (Hazrat et al., 2013).

Translocation factors and bioaccumulation factors determine the performance of phytoremediation. *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* plants had TF value of more than 1 on clay soils, except for *Cordyline fruticosa* with 3 months exposure duration. This indicate that *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* are accumulator plants with a phytoextraction mechanism. The TF

value of *Codiaeum variegatum* in dusty clay is more than 1, this indicates that *Codiaeum variegatum* is an accumulator with a phytoextraction mechanism, while *Cordyline fruticosa* has a TF value of less than one so it is an accumulator with a phytostabilization mechanism, except for lead exposure of 375 mg.kg^{-1} at an exposure duration of 3 months. Translocation factors are different for plant species (Liu et al. 2010) as well as for *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*, this occurs due to differences in physiological and biochemical processes as well as gene expression that controls absorption, accumulation and translocation, and plant tolerance to metals (Hidayati 2013).

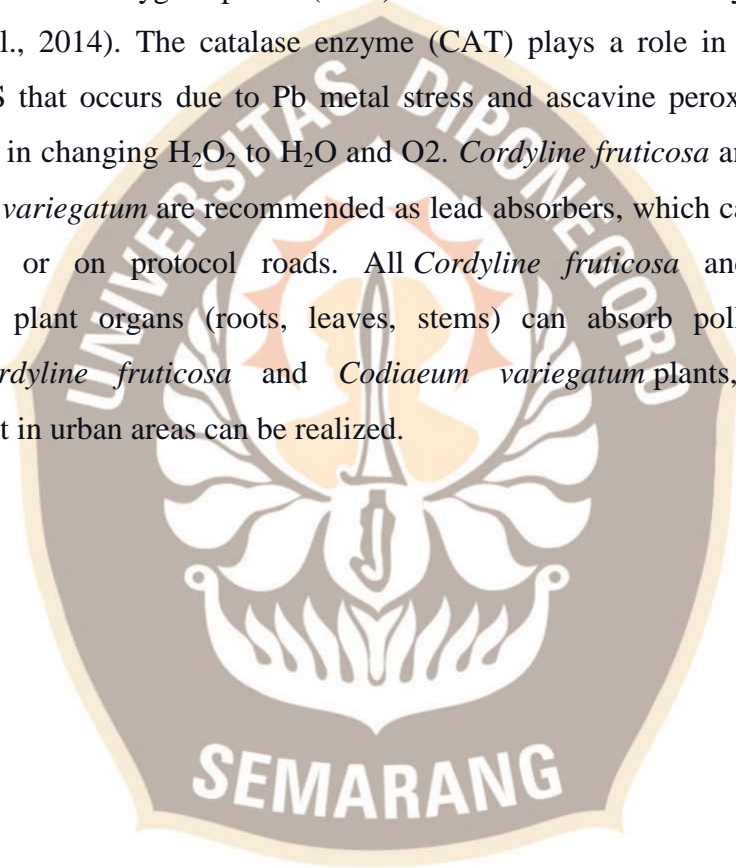
The BAF value of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* in clay soil has a value of less than 1 except for *Cordyline fruticosa* exposed to lead 250 mg.kg^{-1} and *Codiaeum variegatum* exposed to lead 375 mg.kg^{-1} for a duration of 3 months. The BAF values in dusty clay on *Cordyline fruticosa* exposed to lead at duration 3 and *Codiaeum variegatum* exposed to lead 375 mg.kg^{-1} with duration of 1 month more than 1. The amount of lead absorbed by plants is influenced by pH, organic matter, and soil phosphorus content. The pH of clay soil is about 6.61 while in dusty clay is around 5.4. High pH causes lead metal to become a precipitated compound. The absorption of lead by plant roots occurs when lead in the soil is in the form of dissolved compounds (Zhang et al., 2018). BAF value >1 and TF value >1 , illustrates that the potential of plant species retaining metals in their roots. *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* can extract Pb from the soil and store it in roots, stems, and leaves.

The index tolerance value (MTI) of *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* ranged from $75 \leq$ to 100. Based on the index tolerance value, *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* were identified as plants that had tolerant of Pb. Adaptive plants that absorbing metals form a reductase enzyme in the roots, where this enzyme has functions to reduce metals then transported in the root membrane (Arisusanti & Pirwani, 2013).

The increasing Pb concentration reduces the total chlorophyll content in *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum*, yet the decrease was not significantly different in both clay and dusty clay. This decrease is due to a

disturbance in the electron transport photon and inhibits the activity of protochlorophyllide reductase (Aibibu et al. 2010).

The activity of the antioxidant enzymes catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) on *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* increased significantly with improving Pb concentrations during Pb exposure both in clay and dusty clay. The antioxidant enzyme activity plays a role in fighting free radicals by reactive oxygen species (ROS) which resulted from heavy metal stress (Malar et al., 2014). The catalase enzyme (CAT) plays a role in reducing the excess ROS that occurs due to Pb metal stress and ascorbate peroxidase (APX) plays a role in changing H_2O_2 to H_2O and O_2 . *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* are recommended as lead absorbers, which can be planted in housing or on protocol roads. All *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* plant organs (roots, leaves, stems) can absorb pollutants, with planting *Cordyline fruticosa* and *Codiaeum variegatum* plants, a healthy environment in urban areas can be realized.



SEKOLAH PASCASARJANA