



TESIS - RE185401

**Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium
Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha
angustifolia* dan Bioaugmentasi *Vibrio
alginolyticus***

ADRIANA OBENU
03211650010011

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN CO-PEMBIMBING
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

(Halaman Ini sengaja dikosongkan)



TESIS - RE185401

**Phytotreatment of Aluminium Contaminated
Soil Using *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia*
and Bioaugmentatif of *Vibrio alginolyticus***

ADRIANA OBENU

03211650010011

SUPERVISOR

Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

CO-SUPERVISOR

Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

MASTER OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAM

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENT AND GEO ENGINEERING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

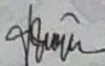
Adriana Obenu

NRP. 03211650010011

Tanggal Ujian : 7 Januari 2019

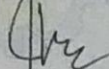
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:



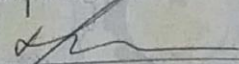
Biaby V. Tangahu, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19710818 199703 2 001

(Pembimbing)



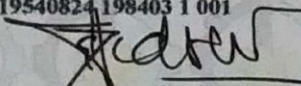
Ipung F. Purwanti, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

(Co-Pembimbing)



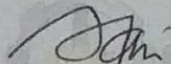
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs
NIP. 19540824 198403 1 001

(Penguji)



Ir. Eddy S. Soedjono, M.Sc., Ph.D
NIP. 19600308 198903 1 001

(Penguji)



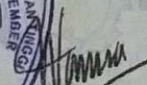
Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750523 200212 2 001

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan



Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750212 199903 2 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian tesis yang berjudul “Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan Bioaugmentasi *Vibrio alginolyticus*” dapat terselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh lulusan magister teknik pada Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemenristekdikti dan Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas bantuan beasiswa pendidikan magister melalui Program BUDI-DN dan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP), Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas bantuan dana. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini, antara lain:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing tesis atas segala ilmu yang telah diberikan dan kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES, Bapak Eddy S. Soedjono, Dipl. M.Sc, Ph.D. dan Ibu Harmin Sulistiyaning Titah S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji tesis atas segala masukan serta bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak Christoforus Obenu, Ibu Yohana Abi, Yanto Obenu, Jefri Obenu dan sahabat penulis yang selalu memberikan doa dan semangat selama pengerjaan penelitian tesis.
4. Ibu Hurun In, Ibu Mery M. Soesilo, selaku laboran dan teman-teman Laboratorium Remediasi Lingkungan yang sudah membantu segala bentuk kerja laboratorium penulis.
5. Anindita Sari Pertiwi selaku rekan penelitian dan teman – teman magister TL angkatan 2016 atas segala *support* yang diberikan.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kemajuan tesis ini. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak lainnya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM MENGGUNAKAN
Scirpus grossus, *Typha angustifolia* DAN BIOAUGMENTASI *Vibrio
alginolyticus*.**

Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP Mahasiswa : 03211650010011
Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, Ph.D
Co-Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, Ph.D

ABSTRAK

Industri daur ulang aluminium di Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang merupakan salah satu industri yang memproduksi logam dan telah ada lebih dari tiga puluh tahun. Industri daur ulang menggunakan *slag*, *abu/dross* dan aluminium *foil* sebagai bahan baku untuk memproduksi pelat atau aluminium ekonomis dari aluminium. Aluminium menjadi salah satu faktor penyebab penyakit yang menyerang saraf motorik manusia seperti alzheimer, parkinson, gangguan ginjal, liver hingga kelainan sel saraf. Kandungan aluminium yang terdapat pada tumbuhan juga dapat menghambat pertumbuhan akar. Kandungan aluminium yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kandungan karbon organik pada tanah. Jika tidak ditangani dengan baik, aluminium di lingkungan dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah hingga pencemaran air tanah.

Salah satu upaya yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran logam aluminium yang disebabkan oleh industri daur ulang adalah metode fitoremediasi. Metode fitoremediasi merupakan metode yang menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik. Jenis tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tumbuhan hiperakumulator yaitu tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dari dalam tanah.

Variasi jenis tumbuhan yaitu *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dan variasi penambahan bakteri *V.alginolyticus* 2% dan 5% (v/v) digunakan sebagai variabel pada penelitian ini. Penentuan konsentrasi pencemar digunakan pada penelitian ini didasarkan pada penelitian pendahuluan yaitu uji *Range Finding Test* (RFT). Parameter yang diuji meliputi tinggi tumbuhan, banyaknya daun, pH, suhu, kelembaban, pengukuran CO₂, berat basah dan berat kering tumbuhan, kandungan aluminium dalam tanah dan tumbuhan (akar dan batang). RFT dilakukan selama 14 hari dengan variasi konsentrasi pencemar 10.000, 5.000, 500, 50 dan 0 mg/kg (kontrol). Berdasarkan hasil pada tahap RFT konsentrasi pencemar yang digunakan untuk penelitian utama adalah 500 mg/kg. Hasil menunjukkan bahwa *S.grossus*, *T.angustifolia* dan *V.alginolyticus* memiliki kemampuan untuk menyisihkan aluminium. Tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* mampu menyerap dan mengakumulasikan Al pada akar dan batang. Efisiensi penyisihan Al selama 28 hari

terdapat pada reaktor T₁B₅% (*S.grossus* dengan penambahan bakteri 5% v/v) sebesar 35,09%.

Kata Kunci: *Fitoremediasi, Bioaugmentasi, S.grossus, T.angustifolia, Aluminium*

**PHYTOTREATMENT OF ALUMINIUM CONTAMINATED SOIL USING
Scirpus grossus, *Typha angustifolia* AND BIOAUGMENTATIF OF *Vibrio
alginolyticus***

Student Name : Adriana Obenu
Student ID : 03211650010011
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, Ph.D
Co-Supervisor : Ipung Fitri Purwanti, Ph.D

ABSTRACT

Aluminum recycling in Sumobito Sub-district, Jombang is one of the industries that produce pure metals and has been around for more than thirty years. The recycling industry uses slag, ash/dross and aluminum foil as raw materials for producing valuable economical plates. Aluminum is one of the causes of diseases that attack human motor nerves such as Alzheimer's, Parkinson's, kidney disorders, liver and nerve cell abnormalities. Despite its effect to human, aluminum content found in plants can also inhibit root growth. High aluminum content can also cause a decrease in organic carbon content in the soil. If not handled properly, aluminum in the environment can cause a decrease in soil fertility and contamination of ground water.

One effort that can be used to remove aluminum pollution caused by recycling industry is the phytoremediation method. Phytoremediation is a method that uses plants to remove, transform, stabilize or degrade pollutants, both organic and inorganic compounds. The type of plant used in this study is a hyperaccumulator plant, a plant that has an ability to absorb heavy metals from the soil.

Variations of plant species that used in this experiment were *Scirpus grossus* and *Typha angustifolia*. The addition of *V. alginolyticus* of 2% and 5% (v/v) were also used as variables in this study. Determination of concentration used in the main study was based on preliminary research, namely Range Finding Test (RFT). The parameters tested included plant height, number of leaves, pH, temperature, humidity, CO₂, wet weight and dry weight of plants, and aluminum content in soil and plants (roots and stems). RFT was carried out for 14 days with variation of pollutant concentrations were 10,000, 5,000, 500, 50 and 0 mg/kg (control). Based on the results of the RFT, aluminium concentration used for the main study was 500 mg/kg. The results showed that *S.grossus*, *T.angustifolia* and *V.alginolyticus* had the ability to remove aluminium. The *S.grossus* and *T.angustifolia* plants are able to absorb and accumulate Al in the roots and stems. Al removal efficiency for 28 days was found in the T₁B_{5%} reactor (*S.grossus* with the addition of 5% v/v bacteria) by 35.09%.

Keywords: *Phytoremediation*, *Bioaugmentatif*, *S.grossus*, *T.angustifolia*., *Aluminium*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Karakteristik Aluminium	7
2.2 Proses Pemurnian Aluminium	9
2.3 Daur Ulang Aluminium	10
2.4 Pencemaran Oleh Limbah Daur Ulang Aluminium	10
2.5 Definisi dan Mekanisme Fitoremediasi	11
2.5.1 Definisi Fitoremediasi	11
2.5.2 Mekanisme Fitoremediasi	14
2.6 Biostimulasi	17
2.7 Bioaugmentasi	18
2.8 Bakteri <i>Vibrio alginolyticus</i>	19
2.9 Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	20
2.10 Tumbuhan <i>Typha angustifolia</i>	21
2.11 Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Gambaran Umum.....	25

3.2	Kerangka Penelitian	25
3.3	Ide Penelitian	27
3.4	Studi Literatur.....	28
3.5	Persiapan Penelitian	28
3.6	Penelitian Pendahuluan	31
3.7	Penelitian utama	34
3.8	Variabel dan Parameter Penelitian	36
3.9	Analisis Data dan Pembahasan.....	39
3.10	Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Tahap Propagasi Tumbuhan.....	43
4.2	Tahap Aklimatisasi Tumbuhan.....	46
4.3	Tahap Range Finding Test (RFT)	46
4.4	Tahap Penelitian Utama	54
4.4.1	Analisis Kandungan Aluminium Pada Akar dan Batang Tumbuhan ...	55
4.4.2	Penyerapan Aluminium Oleh Tumbuhan	58
4.4.3	Analisis Kandungan Aluminium Pada Tanah.....	60
4.4.4	Analisis pH Tanah.....	63
4.4.5	Analisis Suhu Tanah	64
4.4.6	Analisis Kelembaban	66
4.4.7	Analisis Karbondioksida (CO ₂)	66
4.4.8	Analisis Morfologi Tumbuhan.....	68
4.4.9	Analisis Biomassa Tumbuhan.....	69
4.4.10	Total Koloni Bakteri	72
4.4.11	Faktor Bioakumulator Tumbuhan.....	74
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		77
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN.....		87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan.....	16
Gambar 2.2 <i>Vibrio alginolyticus</i>	20
Gambar 2.3 <i>Scirpus grossus</i>	21
Gambar 2.4 <i>Typha angustifolia</i>	22
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Reaktor Tahap <i>Range Finding Test</i> (RFT).....	34
Gambar 3.3 Reaktor Penelitian Utama.....	36
Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan <i>Scirpus grossus</i>	43
Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan <i>Typha angustifolia</i>	44
Gambar 4.3 Reaktor Propagasi dan Generasi Kedua (Tunas).....	44
Gambar 4.4 Laju Pertumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	45
Gambar 4.5 Pertumbuhan Daun <i>Scirpus grossus</i>	45
Gambar 4.6 Laju Pertumbuhan <i>Typha angustifolia</i>	45
Gambar 4.7 Pertumbuhan Daun <i>Typha angustifolia</i>	46
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	50
Gambar 4.9 Jumlah Daun Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	50
Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan <i>Typha angustifolia</i>	51
Gambar 4.11 Banyaknya Daun <i>Typha angustifolia</i>	51
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran pH Tanah Reaktor <i>Scirpus grossus</i>	52
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran pH Tanah Reaktor <i>Typha angustifolia</i>	53
Gambar 4.14 Pengukuran Suhu Tanah Reaktor <i>Scirpus grossus</i>	53
Gambar 4.15 Pengukuran Suhu Tanah Reaktor <i>Typha angustifolia</i>	54
Gambar 4.16 Kandungan Aluminium Pada Akar Tumbuhan.....	56
Gambar 4.17 Kandungan Aluminium Pada Batang Tumbuhan.....	56
Gambar 4.18 Efisiensi Penyerapan Aluminium Oleh Tumbuhan.....	59
Gambar 4.19 Kandungan Aluminium Pada Tanah.....	60
Gambar 4.20 Efisiensi Penyisihan Aluminium.....	61
Gambar 4.21 Hasil Uji ANOVA.....	62
Gambar 4.22 Hasil Pengukuran pH Tanah.....	63
Gambar 4.23 Hasil Pengukuran Suhu Tanah.....	65
Gambar 4.24 Pengukuran CO ₂ Menggunakan CO ₂ Meter.....	67
Gambar 4.25 Hasil Pengukuran CO ₂	67
Gambar 4.26 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan.....	68
Gambar 4.27 Hasil Pengukuran Banyaknya Daun.....	69
Gambar 4.28 Hasil Pengukuran Biomassa Akar Tumbuhan.....	70
Gambar 4.29 Hasil Pengukuran Biomassa Batang Tumbuhan.....	71
Gambar 4.30 Hasil Pengukuran Biomassa Daun Tumbuhan.....	71

Gambar 4.31 Log CFU Bakteri Pada Tiap Reaktor Selama Waktu Uji.....73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tumbuhan Yang Digunakan Untuk Fitoremediasi.....	13
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	23
Tabel 3.1 Matriks Penelitian.....	39
Tabel 4.1 Pengamatan <i>Range Finding Test</i> pada <i>Scirpus grossus</i>	48
Tabel 4.2 Pengamatan <i>Range Finding Test</i> pada <i>Typha angustifolia</i>	49
Tabel 4.2 Faktor Biokonsentrasi (BCF).....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium adalah salah satu jenis logam golongan 3A dengan nomor atom 13 dan massa atom 26,98 yang dikategorikan sebagai zat berbahaya bagi lingkungan. Aluminium merupakan logam dengan jumlah yang melimpah di kerak bumi dan elemen terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon (Tsakiridis, 2012). Aluminium di alam bebas ditemukan dalam bentuk mineral atau senyawa berikatan dengan valensi 3⁺. Senyawa ikatan aluminium umumnya ditemukan akibat adanya pencemaran aluminium oleh suatu industri. Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi bangunan, kegiatan industri pemurnian aluminium, dan kegiatan daur ulang aluminium. Proses pemurnian aluminium menghasilkan berbagai jenis limbah yaitu *skimming*, *abu/dross*, *slag* aluminium dan berbagai jenis impuritas (Tsakiridis, 2012). Penggunaan Aluminium yang sangat luas akan mengakibatkan timbulnya limbah yang dampaknya sangat berbahaya untuk lingkungan (Supriyanto, 2009). Aluminium mampu menghambat pertumbuhan akar tumbuhan (Krstic *et al.*, 2012). Aluminium juga menjadi salah satu faktor penyebab penyakit seperti Alzheimer, *Amyotrophic lateral sclerosis* dan *Parkinson dementia* pada manusia. Salah satu contoh penggunaan aluminium yang dampaknya berbahaya bagi lingkungan terdapat di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang.

Industri daur ulang aluminium Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang merupakan jenis industri yang mengolah limbah logam dan telah ada lebih dari 30 tahun (BLH Jombang, 2016). Lokasi industri yang dekat dengan areal persawahan dan pemukiman penduduk sehingga menimbulkan dampak negatif berupa gangguan kesehatan dan lingkungan (Laksono dan Muzayanah, 2016). Industri kecil daur ulang limbah aluminium ini menggunakan *slag*, *abu/dross* dan *foil* aluminium sebagai bahan baku untuk di daur ulang menjadi lempengan/batangan aluminium yang bernilai ekonomis. Menurut sifat kategori bahannya *slag*, *abu/dross* dan *foil* aluminium

tergolong sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3), sehingga aktivitas industri daur ulang aluminium tergolong sebagai kegiatan/usaha pemanfaatan LB3.

Pada Lingkungan Industri Kecil (LIK) daur ulang limbah aluminium pada beberapa titik sampling kadar aluminium masing-masing sebesar 35,639 mg/kg, 49,967 mg/kg, 32,916 mg/kg dan 23,680 mg/kg (BLH Jombang, 2016). Berdasarkan hasil pengujian tanah, teridentifikasi bahwa lokasi sampling merupakan lahan bekas penimbunan limbah B3 yang berupa abu/*dross* hasil produksi aluminium. Limbah industri daur ulang penggunaan slag, abu/*dross* dan *foil* aluminium sebagai bahan baku harus mendapatkan pengelolaan yang tepat agar limbah tersebut tidak berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan. Pengelolaan limbah padat dari industri daur ulang yang tergolong B3 mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3.

Limbah cair sisa kegiatan dibuang secara langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan apapun. Impuritas bahan juga ditimbun secara terbuka di area sekitar lokasi industri. Konsentrasi aluminium dalam air limbah yang diambil dari kanal buangan adalah 0,67 mg/L (Kurniawan, 2018). Konsentrasi aluminium yang terukur merupakan campuran antara limbah produksi dengan kegiatan domestik (mandi dan cuci). Aluminium dalam air limbah dapat berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan seperti efek toksik pada biota air, penurunan kesuburan tanah dan terganggunya aktifitas enzimatik organisme (Ding *et al.*, 2011).

Secara alami, lingkungan memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa-senyawa pencemar yang masuk ke dalamnya melalui proses biologi. Namun beban pencemar di lingkungan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan proses degradasi zat pencemar tersebut secara alami. Akibatnya zat pencemar terakumulasi sehingga dibutuhkan campur tangan manusia dengan teknologi yang ada untuk mengatasi pencemaran tersebut (Nugroho, 2006). Upaya yang dapat dilakukan dalam pengolahan tanah tercemar aluminium menggunakan beberapa metode yaitu presipitasi, penguapan, pertukaran ion dan elektrodialisis (Eckenfelder, 2000).

Metode remediasi tanah tercemar juga dapat dilakukan dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar melalui proses penguraian

kontaminan menggunakan tumbuhan (Mangkoedihardjo, 2007). Fitoremediasi dinilai sebagai proses yang berkelanjutan dan murah, serta merupakan suatu alternatif baru yang berkembang dengan cepat sehingga sangat cocok untuk diterapkan (Ghosh dan Singh, 2005). Fitoremediasi memiliki banyak manfaat dan keuntungan, diantaranya adalah prosesnya ramah lingkungan, mudah untuk diterapkan, efisien dan estetik serta dapat bekerja pada berbagai polutan. Selain biaya yang rendah, fitoremediasi juga sangat mudah diterapkan secara *in situ* (Chussetijowati *et al.*, 2009).

Pada penelitian ini, digunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* untuk memulihkan tanah tercemar aluminium. *Typha angustifolia* merupakan salah satu jenis rumput yang mempunyai daya tahan yang kuat dan tidak mudah mati serta termasuk tumbuhan yang berperan aktif maupun pasif dalam proses penyisihan polutan yang dilakukan pada permukaan akar (Khan *et al.*, 2000). *Scirpus grossus* digunakan dalam penelitian ini karena spesies ini potensial sebagai tumbuhan hiperakumulator logam berat (Tangahu *et al.*, 2010). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang secara alami mampu mengakumulasi logam dalam jumlah besar pada tunas mereka (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Kedua jenis tumbuhan ini banyak ditemukan di lingkungan serta terbukti mampu digunakan sebagai agen fitoremediasi.

Untuk meningkatkan kinerja proses fitoremediasi dalam penyisihan kadar logam aluminium pada tanah tercemar dilakukan penambahan bakteri *Vibrio alginolyticus*. Berdasarkan hasil penelitian Kurniawan (2018) bakteri *Vibrio alginolyticus* dapat menyisihkan logam aluminium sebesar 59,72%. Oleh karena itu, penambahan bakteri *Vibrio alginolyticus* bertujuan untuk mengetahui pengaruh bioaugmentasi atau penambahan bakteri yang membantu tumbuhan dalam menyisihkan logam aluminium.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dalam penyisihan kadar logam aluminium pada tanah tercemar. Penambahan bakteri bertujuan untuk mengetahui pengaruh bioaugmentasi yang dapat mendukung proses fitoremediasi. Selain itu untuk mengetahui pemanfaatan

tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* sebagai tumbuhan hiperakumulator logam aluminium pada tanah tercemar aluminium.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, diketahui bahwa aluminium merupakan salah satu polutan lingkungan yang berpotensi mencemari tanah. Pada kondisi tertentu, aluminium dapat bersifat toksik pada tumbuhan dan mikroorganisme. Oleh karena itu, perlu ditentukan konsentrasi maksimum limbah logam aluminium yang mana tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* masih dapat bertahan hidup dan besarnya efisiensi penyisihan logam aluminium pada tanah tercemar aluminium dengan penambahan bakteri *Vibrio alginolyticus*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi maksimum limbah logam aluminium dimana tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dapat bertahan hidup.
2. Menentukan efisiensi penyisihan logam aluminium pada tanah tercemar aluminium dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan bioaugmentasi bakteri *Vibrio alginolyticus*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai, maka manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait kemampuan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dalam menyisihkan logam aluminium pada tanah tercemar aluminium.
2. Memberikan alternatif pengolahan tanah tercemar logam aluminium dengan menggunakan metode fitoremediasi dan bioaugmentasi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup memiliki tujuan untuk membatasi masalah yang dibahas pada penelitian ini. Penelitian tesis ini memiliki ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Greenhouse Departemen Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
2. Media tanah tercemar aluminium merupakan media tanah yang dilakukan dengan cara menuangkan larutan aluminium kedalam reaktor yang terdapat tumbuhan.
3. Pencemar aluminium yang digunakan adalah limbah artifisial aluminium menggunakan bubuk *Aluminium Chloride* ($AlCl_3$).
4. Tumbuhan yang digunakan yaitu *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*.
5. Bakteri *Vibrio alginolyticus* merupakan bakteri hasil isolasi tanah tercemar aluminium di kawasan industri daur ulang aluminium Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang.
6. Variabel yang digunakan berupa variasi jenis tumbuhan (*Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*), volume penambahan bakteri *Vibrio alginolyticus* 2% (v/v) dan 5% (v/v).
7. Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah kandungan logam aluminium, morfologi tumbuhan (tinggi tumbuhan dan banyaknya daun), pH, suhu, kelembaban, karbondioksida (CO_2), berat basah dan berat kering tumbuhan serta jumlah koloni bakteri pada akar tumbuhan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dalam kajian pustaka dan dasar teori dibahas mengenai dasar teori dan literatur yang digunakan sebagai acuan untuk mendukung ide penelitian fitoremediasi tanah tercemar aluminium di lingkungan industri kecil daur ulang aluminium dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*.

2.1 Karakteristik Aluminium

Aluminium adalah salah satu jenis logam golongan 3A dengan nomor atom 13 dan massa atom 26,98 yang dikategorikan sebagai zat berbahaya bagi lingkungan. Aluminium merupakan logam dengan jumlah yang melimpah di kerak bumi dan merupakan elemen terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon (Tsakiridis, 2012). Aluminium adalah logam putih, yang liat dan dapat ditempa, bubuknya berwarna abu-abu dan melebur pada 659⁰C. Asam klorida encer dengan mudah melarutkan logam ini, pelarutan lebih lambat dalam asam sulfat encer atau asam nitrat encer (Vogel, 1990). Aluminium merupakan logam ringan, yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Surdia, 2005). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al₂O₃) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. (Hartono, 1992). Senyawa aluminium oksida (Al₂O₃) merupakan oksida yang bersifat amfoter karena dapat bereaksi dengan asam maupun dengan basa meskipun berlangsung dengan lambat. Aluminium mudah dilengkungkan dan dibuat mengkilat, serta larut dalam asam organik (Surdia, 2005). Karakteristik fisik aluminium yaitu bersifat amfoter dan dapat larut dalam asam atau basa encer serta bereaksi dengan air dan melepaskan H₂ (Sinaga, 2016).

Aluminium sekunder dikenal sebagai hasil daur ulang aluminium. Aluminium sekunder diproduksi dalam berbagai format dan digunakan di 80% dari suntikan paduan. Daur ulang melibatkan proses pencairan aluminium yaitu sebuah proses yang

membutuhkan hanya 5% dari energi yang digunakan untuk memproduksi aluminium dari bijih. Dalam proses ini aluminium mengalami kehilangan berat hingga 15% dari berat bahan baku. Hilangnya berat disebabkan terjadinya oksidasi oleh udara selama berlangsungnya proses pelelehan, menjadi oksida aluminium (Al_2O_3) (Hartono, 1992). Persentase penurunan berat juga disebabkan jenis aluminium yang di daur ulang. Aluminium plat tipis memiliki tingkat risiko kehilangan berat yang jauh lebih besar dibanding aluminium yang lebih plat tebal. Meskipun aluminium hasil daur ulang memiliki kadar yang lebih rendah dibanding aluminium hasil produksi, namun Aluminium hasil daur ulang masih mempertahankan sifat fisik yang sama dengan aluminium hasil pabrik.

Aluminium merupakan salah satu unsur hara penunjang yang dapat menyebabkan keracunan tanah di sekitar perakaran tumbuhan sehingga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Rout *et al.*, (2001) menyatakan bahwa aluminium menyebabkan terganggunya pembelahan sel pada tudung akar, akar lateral dan menyebabkan peningkatan *rigiditas* sel melalui pembentukan ikatan silang pektin pada dinding sel, serta mereduksi replikasi DNA melalui peningkatan *rigiditas* rantai ganda. Kelarutan aluminium sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Dalam keadaan sangat masam ($\text{pH} < 3,5$) aluminium menjadi larut dan dijumpai dalam bentuk kation Al^{3+} dan hidroksi Al. Bentuk Al^{3+} merupakan aluminium yang paling dominan pada $\text{pH} < 4,0$ sedangkan bentuk $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ mulai terbentuk pada $\text{pH} 4,0 - 5,0$ dan pada $\text{pH} > 5,5$ pengaruh Al dalam bentuk Al^{3+} sudah dapat dihilangkan (Handiri, 2017).

Menurut Marschner (1986) bentuk Al^{3+} merupakan bentuk Al yang paling beracun bagi tumbuhan, namun menurut Duncan dan Baligar (1990) pada tanah masam keracunan Al bukan hanya akibat pH yang rendah dan konsentrasi Al total yang tinggi tetapi juga rasio Al-anorganik dengan ikatan Al-senyawa organik, seperti asam organik atau *phenolik*. Keracunan yang disebabkan oleh Al merupakan salah satu faktor utama yang membatasi pertumbuhan tumbuhan pada lahan masam (Wright, 1989). Pengaruh utama Al pada tumbuhan adalah menghalangi pertumbuhan akar pada *genotype* yang

peka terhadap cekaman Al. Keracunan Al dapat menyebabkan terhambatnya penyerapan unsur hara dan air melalui akar pada tumbuhan (Foy, 1983).

Toksisitas aluminium mempengaruhi produktivitas tumbuhan dengan membatasi pemanjangan akar, sehingga penyerapan mineral dari air dan tanah berkurang (Ma *et al.*, 2012). Konsentrasi Al^{3+} sebesar 1-2 ppm dalam tanah dapat meracuni tumbuhan. Hal ini disebabkan oleh, aluminium yang terlarut terakumulasi pada jaringan akar dan menghambat pembelahan dan pemanjangan sel serta menghambat pembentukan dinding sel (Dent, 1986). Aluminium memiliki *nilai N-Octanol/Water Partition Coeficients* (Kow) sebesar $2,44 \pm 0,27$ (Tapparo dan Perazzolo, 1977). Menurut Baes *et al.*, (1984) *Coefficient sorption* (Kd) aluminium sebesar 15 (1.500 L/kg).

2.2 Proses Pemurnian Aluminium

Proses pemurnian aluminium terdiri atas 2 tahap yaitu proses *bayer* dan proses *hall-heroult*. Menurut Aziz (2010), proses *bayer* merupakan suatu proses pemurnian bijih bauksit untuk menghasilkan aluminium dalam bentuk oksidanya atau yang disebut alumina. Tahap-tahap pada proses *bayer* ini meliputi ekstraksi, presipitasi, dan kalsinasi. Proses *hall-heroult* adalah tahap peleburan alumina dengan cara reduksi melalui proses elektrolisis untuk menghasilkan aluminium murni (Handoko, 2009). Bahan yang digunakan adalah biji bauksit yang mengandung 50-60% Al_2O_3 yang bercampur dengan zat-zat pengotor seperti Fe_2O_3 dan SiO_2 .

Pada proses *bayer*, bijih bauksit yang sudah dicuci kemudian dilindi dengan larutan natrium hidroksida. Larutan natrium hidroksida akan melarutkan alumina dan sebagian silika. Adanya silika dalam bijih bauksit akan mengkonsumsi reagen pelindi natrium hidroksida dan mengendapkan kembali aluminium yang telah terlarut, menghasilkan senyawa kompleks natrium aluminosilikat. Pada proses *hall-heroult* alumina hasil proses *bayer* dilarutkan di dalam lelehan garam klorit (Na_3AlF_6) dalam bejana baja berlapis grafit yang sekaligus berfungsi sebagai katode. Selanjutnya elektrolisis dilakukan pada suhu $950^\circ C$. Setelah diperoleh Al_2O_3 murni, maka proses

selanjutnya adalah elektrolisis leburan Al_2O_3 . Lelehan aluminium yang dihasilkan kemudian dialirkan dan dicetak menjadi ingot atau lembaran.

2.3 Daur Ulang Aluminium

Daur ulang aluminium adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengambil sisa aluminium yang masih terdapat pada limbah untuk digunakan kembali. Limbah yang digunakan pada industri daur ulang berupa slag, abu/*dross* dan *foil* aluminium. Secara umum daur ulang aluminium terdiri atas proses penghancuran, pengayakan, pelapisan alat, peleburan dan pencetakan aluminium (Tsakiridis, 2012). Bahan baku berupa *foil* aluminium yang dibakar terlebih dahulu. Pembakaran dilakukan di lahan terbuka dengan tujuan untuk memisahkan antara aluminium dengan plastik dan bahan impuritis lainnya. *Foil* aluminium yang telah terpisah kemudian dimampatkan dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi peleburan, kemudian masuk dalam proses peleburan. Proses peleburan logam dilakukan di dalam tungku peleburan. Bahan baku yang telah melewati proses pengayakan dimasukkan ke dalam tungku peleburan yang beberapa jam sebelumnya telah dipanaskan. Bahan baku tersebut kemudian dilebur sesuai dengan titik lebur aluminium, yaitu $660,32^{\circ}C$. Bahan baku yang telah mencair kemudian diberi fluks yang berfungsi memisahkan kotoran dengan cairan yang mengandung logam.

Logam yang telah mencair kemudian dituang ke dalam cetakan. Cetakan yang digunakan terlebih dahulu ditaburi dengan bubuk kalsium atau kapur agar cairan logam yang telah menjadi padat tidak lengket pada cetakan. Penuangan logam cair ke dalam cetakan dilaksanakan dengan manual secara kontinyu dan tidak terputus sampai volume penuangan penuh. Jika penuangan terputus maka proses perubahan logam dari cair ke padat tidak sempurna karena adanya perbedaan suhu pada logam cair sehingga menyebabkan cacat pada produk.

2.4 Pencemaran Oleh Limbah Daur Ulang Aluminium

Daur ulang limbah aluminium merupakan kegiatan yang banyak dilakukan oleh industri skala kecil hingga menengah. Daur ulang aluminium menghasilkan logam

murni aluminium yang kualitasnya tidak berbeda dari proses pemurnian aluminium primer (Polmear, 2006). Daur ulang aluminium yang banyak dilakukan diakibatkan karena banyaknya limbah aluminium. Kemudahan untuk mendapatkan bahan baku dan kualitas produk yang dihasilkan membuat kegiatan ini banyak berkembang (Tsakiridis, 2012).

Proses daur ulang limbah aluminium menghasilkan limbah sebagai hasil samping proses produksi. Limbah yang dihasilkan berupa impuritas bahan baku, sisa aluminium dan beberapa zat pengotor (BLH Jombang, 2016). Limbah yang dihasilkan dari proses penghancuran, pengayakan, peleburan dan pembakaran dapat mengganggu stabilisasi lingkungan. Pada pembakaran dan pemecahan atau pemisahan logam aluminium dengan logam lain juga banyak dihasilkan partikel-partikel yang terdispersi ke udara sebagai bahan pencemar. Salah satunya adalah karbon dalam bentuk abu atau *fly ash* (Wardhana, 2004).

Beberapa kasus yang terjadi, limbah yang dihasilkan dari industri daur ulang adalah *dross*/abu dari proses penghalusan bahan baku, menghasilkan gas yang berbau dari proses daur ulang yang menggunakan katalis silikon, perubahan warna dan rasa yang diakibatkan oleh masuknya limbah proses daur ulang aluminium ke air tanah, abu aluminium yang di kemas dalam sak (karung) plastik dijadikan tanggul sungai sehingga mencemari air sungai. Gangguan kesehatan seperti gangguan pernafasan yang disebabkan oleh emisi gas dari proses pembakaran bahan baku. Menurunnya kesuburan tanah terjadi akibat akumulasi aluminium dan impuritas yang menyebabkan turunnya pH tanah (BLH Jombang, 2016).

2.5 Definisi dan Mekanisme Fitoremediasi

2.5.1 Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknik penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Purakayastha dan Chhonkar, 2010). Teknik fitoremediasi merupakan metode biokonsentrasi bahan berbahaya (polutan) dalam tanah dan air serta merupakan teknologi pemulihan kualitas lingkungan tercemar yang ramah lingkungan

dan murah (Chussetijowati *et al.*, 2009). Fitoremediasi bekerja dengan baik pada tempat dengan tingkat polusi rendah sampai tingkat polusi sedang. Bahan kimia yang diserap oleh tumbuhan disimpan dalam akar, batang, dan daun yang nantinya akan diubah menjadi bahan kimia yang kurang berbahaya, diubah dalam bentuk gas dan dilepaskan ke udara dalam proses transpirasi (EPA, 2001). Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tetapi beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengatasi kontaminan anorganik seperti arsenik, berbagai macam garam dan nutrien, dan berbagai kontaminan organik, termasuk bahan peledak, hidrokarbon, dan pestisida. Tumbuhan merupakan komponen penting dari ekosistem karena tumbuhan membawa unsur-unsur dari lingkungan abiotik ke lingkungan biotik (Chojnacka *et al.*, 2005).

Tidak semua jenis tumbuhan dapat digunakan untuk fitoremediasi karena tidak semua tumbuhan dapat melakukan proses metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Menurut Hardiani (2009), untuk menentukan tumbuhan yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tumbuhan yang memiliki sifat cepat tumbuh, mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat dan mampu bersifat akumulator kuat dari satu polutan. Sejumlah tumbuhan terbukti dapat beradaptasi terhadap lingkungan *marginal* dan ekstrim seperti tanah yang terkontaminasi zat-zat beracun dan memiliki kualitas fisik, kimia maupun biologis yang sangat rendah.

Feller (2000) menyatakan bahwa keunggulan tumbuhan sebagai fitoremediator memiliki memiliki sifat toleran dan hiperakumulator logam, jenis tumbuhan yang dapat merombak polutan, tumbuhan yang dimodifikasi genetiknya ke suatu lingkungan relative lebih mudah dikontrol, tumbuhan yang memiliki nilai estetika, memiliki kemampuan fotosintesis, dapat menghasilkan energi yang dapat dicurahkan selama proses detoksifikasi polutan, kombinasi dengan mikroba dapat memberikan nilai tambah untuk kesuburan tanah dan memiliki sistem perakaran yang dapat mengadakan kontak dengan bidang tanah yang luas dan penetrasi akar yang dalam. Tabel 2.1

menunjukkan jenis tumbuhan hiperakumulator atau tumbuhan yang dapat digunakan untuk fitoremediasi.

Tabel 2.1 Tumbuhan Yang Digunakan Untuk Fitoremediasi

No	Tumbuhan	Pencemar	Konsentrasi	Removal (%)	Sumber, Tahun
1	<i>Vetivera zizanioides</i>	Cd	60 ppm	78,60	Prayudi <i>et al.</i> , 2014
		Cr	800 ppm	76,2	
2	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Hg	72,02 mg/kg	88	Siahaan <i>et al.</i> , 2011
3	<i>Caloptropis gigantea</i>	Cd	-	64,76	Hapsari <i>et al.</i> , 2017
4	Jarak pagar	Pb	-	76-91	Surahmaida, 2014
5	<i>Eleusine indica</i>	Cd	-	57,11	Hamzah <i>et al.</i> , 2017
6	<i>Alyssum corsicum</i>	Ni	-	400	Hidayati, 2013
7	<i>Cyperus Iria</i>	Zn	1,16 mg/L	56,62	Indriyatie, 2007
		Pb	2 mg/L	22,5	Liu <i>et al.</i> , 2007
8	<i>Cyperus kyllingia</i> Endl.	As	1ppm	1,93	Purnomo <i>et al.</i> , 2015
		Hg	-	126	
9	<i>Pteris biaurita</i> L.	As	1ppm	1,07	Purnomo <i>et al.</i> , 2015
		Hg	-	96	
10	<i>Echinodorus palaefolius</i>	Pb	4,87 mg/kg	81,72	Caroline <i>et al.</i> , 2015
11	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Pb	112 mg/kg	81,08	Ratnawati <i>et al.</i> , 2018
12	<i>Helianthus annuus</i> L.	Cd	2083 mg/kg	56,03	Tariq <i>et al.</i> , 2013
13	<i>Brassica Juncea</i>	Cr	208 mg/kg	90	You dan Li, 2004
14	<i>Typha latifolia</i>	Cd	17.03 mg/kg	59,05	Fitra <i>et al.</i> , 2013
15	<i>Lindernia crustacea</i>	Hg	21,66 ppm	89,13	Hidayati, 2005

Tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dari tanah dikenal sebagai tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk menahan substansi bersifat toksik dengan cara biokimia dan sifat fisiologisnya serta dapat menahan substansi non-nutritif organik yang dilakukan pada permukaan akar. Bahan pencemar (polutan) dimetabolisme atau diimobilisasi melalui sejumlah proses termasuk reaksi oksidasi, reduksi dan hidrolisis enzim (Khan *et al.*, 2000). Menurut Vamerali *et al.*, (2010) untuk menentukan tumbuhan yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tumbuhan yang bersifat cepat tumbuh dan memiliki biomassa yang tinggi, mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak dalam waktu yang singkat, memiliki sistem perakaran yang panjang, mampu meremediasi lebih dari satu polutan, dan toleransi yang tinggi terhadap polutan dan mampu bertahan dengan tingginya konsentrasi polutan dalam jaringan tumbuhan. Menurut Hidayati (2013) karakteristik tumbuhan hiperakumulator adalah tahan terhadap logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya; tingkat laju penyerapan logam dari tanah lebih tinggi dibanding tumbuhan lain dan memiliki kemampuan untuk mentranslokasi dan mengakumulasi logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi.

Keunggulan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik yang prosesnya dapat dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*. Selain itu, fitoremediasi mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi. Fitoremediasi merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar. Kekurangan fitoremediasi adalah prosesnya memerlukan waktu yang lama, bergantung kepada iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomassa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Nwoko, 2010).

2.5.2 Mekanisme Fitoremediasi

Mekanisme fitoremediasi terdiri dari beberapa proses yang berlangsung secara alami dengan enam tahap proses yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan

atau pencemar yang berada disekitarnya. Mekanisme fitoremediasi dari hiperakumulasi kontaminasi anorganik (unsur logam) pada dasarnya meliputi empat proses. Empat proses tersebut adalah:

1. Fitostabilisasi

Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik (Mangkoedihardjo, 2005).

2. Fitoekstraksi (Fitoakumulasi)

Fitoekstraksi atau fitoakumulasi adalah penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan selanjutnya ditranslokasikan ke dalam jaringan organ tumbuhan lain seperti batang dan daun kemudian diakumulasi. Pada proses ini berlangsung penyerapan kontaminan secara langsung oleh tumbuhan. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi kemampuan tumbuhan sebagai fitoekstraktor adalah *bioconcentration factor* (BCF) dan biomassa tumbuhan. Apabila nilai $BCF > 1$, maka tumbuhan tersebut memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengakumulasi kontaminan, sehingga dalam hal ini tumbuhan tersebut dapat berperan sebagai tumbuhan *hyperaccumulator*. Biomassa tumbuhan berkaitan dengan kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi kontaminan. Batas kadar kontaminan yang terdapat dalam biomassa berbeda-beda tergantung pada jenis kontaminannya (Ghosh dan Singh, 2005).

3. Rhizofiltrasi

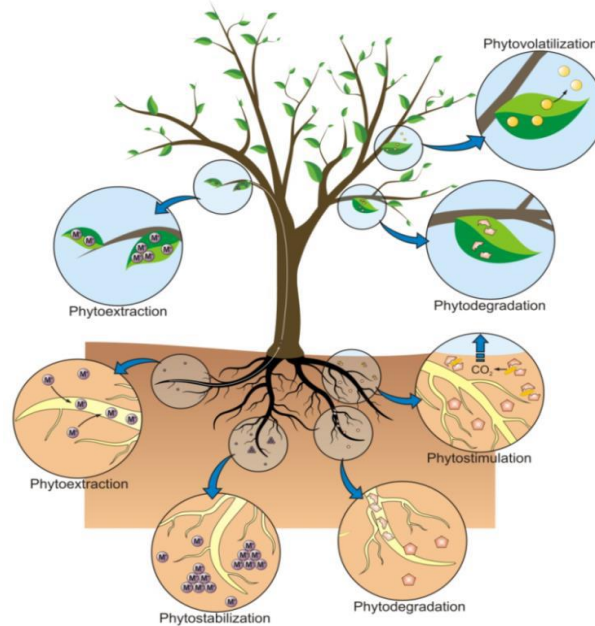
Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengadsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan sehingga untuk kompos tidak memerlukan proses rhizofiltrasi. Lindi yang terbentuk dalam pengomposan primer dapat menerapkan rhizofiltrasi. Spesies tumbuhan yang fungsional adalah rumput air seperti *Cattail* dan Eceng gondok (Mangkoedihardjo, 2005).

4. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi yaitu proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan polutan tersebut dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami

transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Pada proses fitovolatilisasi polutan telah dirubah menjadi bersifat volatil yang kemudian ditranspirasikan oleh tumbuhan (Hidayati *et al.*, 2005).

Gambar 2.1 menjelaskan tentang mekanisme proses fitoremediasi pada tumbuhan hiperakumulator atau mekanisme penyerapan logam berat oleh tumbuhan.



Gambar 2.1 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan
Sumber: Favas *et al.*, (2014)

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, sebagai berikut:

1. Penyerapan oleh akar. Agar tumbuhan dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa kedalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tumbuhan. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lainnya. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tumbuhan melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) ke bagian tumbuhan lainnya.

3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga logam agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai detoksifikasi misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Tumbuhan dapat berperan langsung atau tidak langsung dalam proses remediasi lingkungan yang tercemar. Tumbuhan yang tumbuh di lokasi tercemar belum tentu berperan secara aktif dalam penyisihan kontaminan, biasanya tumbuhan tersebut berperan secara tidak langsung. Mikroorganisme tanah lebih berperan aktif dalam proses biodegradasi polutan, sedangkan tumbuhan yang bersifat mendorong percepatan remediasi lokasi yang tercemar tersebut (Tang *et al.*, 2010). Pemanfaatan tumbuhan untuk remediasi lingkungan sangat ditentukan oleh pemahaman tentang penyerapan logam serta penyerapan/degradasi senyawa organik oleh tumbuhan. Tumbuhan harus bersifat hipertoleran agar dapat mengakumulasi sejumlah besar logam berat di dalam batang dan daun. Tumbuhan harus mampu menyerap logam berat dari dalam tanah dengan laju penyerapan yang tinggi dan harus mempunyai kemampuan untuk mentranslokasi logam berat yang diserap oleh akar ke bagian batang serta daun (Panjaitan, 2008).

Penyerapan logam oleh tumbuhan dipengaruhi oleh efisiensi penyerapan, kecepatan transpirasi, dan konsentrasi logam di dalam larutan tanah (Schnoor, 1997). Efisiensi penyerapan logam oleh tumbuhan dipengaruhi oleh sifat fisik-kimia tanah, spesies kimia dari logam yang diserap dan sifat tumbuhan penyerapnya (Priyambada, 2006).

2.6 Biostimulasi

Biostimulasi merupakan remediasi alami yang dapat meningkatkan degradasi polutan dengan mengoptimalkan aerasi, penambahan nutrisi, pH dan pengontrolan suhu (Margesin dan Schinner, 2001). Biostimulasi melibatkan penambahan nutrisi yang bertujuan untuk mempercepat proses biodegradasi. Menurut Zhu *et al.*, 2001 banyaknya eksperimen laboratorium yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan

adanya penambahan nutrisi yakni nitrogen dan fosfor dapat meningkatkan laju biodegradasi. Mikroba membutuhkan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dalam aktifitasnya dan keseimbangan metabolisme sel. Nutrien merupakan faktor yang berpengaruh besar dalam sintesis dan pertumbuhan sel serta dalam aktifitas enzim yang dihasilkan bakteri untuk mendegradasi polutan.

Pada dasarnya semua mikroorganisme membutuhkan karbon sebagai sumber energi untuk aktifitasnya. Nitrogen dan fosfor merupakan penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme. Ketiga unsur ini harus ada dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal. Rasio C:N yang rendah (kandungan unsur N yang tinggi) akan meningkatkan emisi dari nitrogen sebagai amonium yang dapat menghalangi perkembangbiakan bakteri. Sedangkan rasio C:N yang tinggi (kandungan unsur N yang relatif rendah) akan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat (*growth-rate limiting factor*) (Alexander, 1994). Rasio C:N tergantung dari kontaminan yang ingin didegradasi, bakteri serta jenis nitrogen yang digunakan.

2.7 Bioaugmentasi

Bioaugmentasi merupakan salah satu teknik bioremediasi yang dilakukan secara *in situ*. Bioaugmentasi merupakan upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan biodegradasi polutan pada lahan tercemar dengan menambahkan *single strain* bakteri atau *consortia* bakteri yang memungkinkan (Mrozik dan Pitrowska, 2010). Proses bioaugmentasi berperan efektif apabila bakteri alamiah tanah belum teridentifikasi atau tidak memiliki kemampuan untuk melakukan proses remediasi. Dalam Kensa (2011), bioaugmentasi merupakan penambahan mikroorganisme *indigenous* dan *exogenous* pada lingkungan atau media tercemar. Menurut Cunningham dan Philip (2000) bioaugmentasi merupakan penambahan kultur kering atau basah mikroorganisme asli dan eksogen untuk mempercepat proses remediasi.

Faktor yang berpengaruh dalam penggunaan mikroba pada lingkungan tercemar yaitu populasi mikroba yang ditambahkan sangat jarang dapat bekerja secara

sinergis dengan bakteri alami media untuk proses degradasi kontaminan dan pada media sampah *biodegradable* telah memiliki mikroba alami yang efektif mendegradasi pencemar. Faktor-faktor yang mempengaruhi bioaugmentasi yaitu berupa faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik meliputi sifat kompetitif bakteri *indogenous* dan *exogenous* dalam pemenuhan nutrisi untuk proses metabolisme. Untuk faktor abiotik meliputi suhu, kelembaban tanah, pH, aerasi dan jumlah nutrisi dalam tanah.

2.8 Bakteri *Vibrio alginolyticus*

Bakteri *V.alginolyticus* merupakan gram negatif yang dapat menggunakan sejumlah komponen seperti satu-satunya sumber karbon dan energi tanpa membutuhkan vitamin atau *growth factor* (Luturmas dan Pattinasarany, 2010). Hidup pada kisaran suhu 4-42°C dan dapat menetap selama berminggu-minggu di dalam lingkungan basah dengan sedikit atau tanpa makanan. Karakteristik ini menjelaskan bahwa bakteri *V.alginolyticus* adalah sebuah bakteri *pathogen opportunistic* yang efektif (Brogden *et al.*, 2000). Bakteri gram negatif memproduksi sejumlah toksin-toksin dan faktor-faktor *virulensi ekstracelluler* yang membuatnya menjadi sebuah patogen yang berat ketika sistem imun dirusak (Kaufman *et al.*, 2002).

Vibrio alginolyticus terdistribusi sangat luas di lingkungan, mulai dari manusia, mamalia, vertebrata. Menurut Reilly (2011) bakteri *V.alginolyticus* ditemukan secara alami di wilayah laut dan muara. Bakteri *V.alginolyticus* memiliki kemampuan untuk berkolonisasi pada lingkungan yang bervariasi tergantung pada ketersediaan makanannya (Luturmas dan Pattinasarany, 2010). Menurut Kurniawan (2018), bakteri *V.alginolyticus* mampu menyisihkan logam aluminium sebesar 59,72% dan berdasarkan hasil penelitian Simanjuntak (2018), bakteri *V.alginolyticus* dapat menyisihkan aluminium pada tanah tercemar Al sebesar 5,48%. Tampilan dari bakteri *V.alginolyticus* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Klasifikasi bakteri *V.alginolyticus* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bakteri
Filum	: Proteobacteria
Ordo	: Gammaproteobacteria

Famili : *Vibrionales*
Genus : *Vibrio*
Spesies : *Alginolyticus*



Gambar 2.2 *Vibrio alginolyticus*
Sumber: Reilly *et al.*, (2011)

2.9 Tumbuhan *Scirpus grossus*

Tumbuhan *S.grossus* termasuk dalam suku *Cyperaceae* ini dikenal dengan nama lain seperti basiang, mansiang, daun mansiro, walingi, wlingian, bundung, lingi, reduk, ending dan panjalingan. *S.grossus* termasuk gulma tahunan yaitu gulma yang umurnya lebih dari 2 tahun. Gulma ini umumnya berkembang biak secara vegetatif dan generatif. Memiliki organ perkembangbiakan berupa stolon/rimpang yaitu batang yang menjalar dalam tanah, pada setiap buku/ruas dapat tumbuh tunas dan akar menjadi individu baru. *Scirpus grossus* adalah tumbuhan potensial sebagai tumbuhan hiperakumulator (Tangahu *et al.*, 2013). Penampakan fisik tumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 2.3. *S.grossus* pada umumnya hidup di lahan basah (daerah berair), namun dapat pula di daerah tanah yang subur dengan sirkulasi air yang baik. Klasifikasi *S.grossus* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheobionta
Super Divisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Sub Kelas : Commelinidae

Ordo : Cyperales
Famili : *Cyperaceae*
Genus : *Scirpus*
Spesies : *Scirpus grossus*



Gambar 2.3 *Scirpus grossus*

2.10 Tumbuhan *Typha angustifolia*

Tumbuhan *T.angustifolia* termasuk kedalam famili *Typhaceae* (*Cattails*) yang merupakan tumbuhan *rhizomatous* tegak, tumbuhan menahun. Rimpang yang bercabang luas, menghasilkan tunas udara pada dan tumbuh dikedalaman yang dangkal ke arah horisontal. Daun berbentuk basal tipis, tegak, linier, datar dan panjang dengan lebar 4-12 mm ketika segar dan 3-8 mm ketika kering. *T.angustifolia* dapat mencapai ketinggian sampai 3 meter. Bunga seperti paku besar (*spike*) berwarna coklat gelap berbentuk padat silinder, 15-50 cm yang menyatu dengan tanamannya dan dapat memproduksi hingga 200.000 bibit dengan persentase yang tinggi dari viabilitas (Prunster, 1940; Yeo, 1964). Bunga seperti paku besar tersebut berjumlah 2 bagian, yaitu bagian atas dan bawah yang dihubungkan oleh sumbu telanjang. Sumbu telanjang ini sebagai pemisah antara bunga jantan dan betina.

Typha angustifolia sering dibabat karena dianggap sebagai tumbuhan pengganggu lahan produktif. Hal ini dikarenakan, sifatnya yang mampu bertumbuh dan berkembang biak dengan sangat cepat. *T.angustifolia* memiliki potensi yang besar dalam penyisihan polutan karena kemampuannya dalam menyimpan nutrien yang

terabsorpsi (Grosshans, 2014). Gambar 2.4 menunjukkan bentuk fisik tumbuhan *T.angustifolia*. Tumbuhan *T.angustifolia* mempunyai daya tahan yang cukup kuat dan tidak mudah mati serta mempunyai akar serabut yang sangat lebat sehingga penyerapan terhadap bahan pencemar terhadap unsur hara yang dibutuhkan relatif besar (Abdulgani *et al.*, 2014). Klasifikasi tumbuhan *T.angustifolia* adalah sebagai berikut:

Kerajaan : Plantae
Sub Kingdom : Tracheobionta
Subdivisi : Spermatophyta
Divisi : Magliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Thypales
Famili : *Typhaceae*
Genus : *Typha*
Spesies : *Typha angustifolia*



Gambar 2.4 *Typha angustifolia*

2.11 Penelitian Terdahulu

Menurut Purakayastha *et al.*, (2010), fitoremediasi merupakan teknik alternatif untuk menghilangkan, menstabilkan, memindahkan dan menghancurkan polutan dengan menggunakan tumbuhan. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pencemaran logam aluminium pada tanah dan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dalam meremediasi logam berat. Ringkasan hasil studi penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Pencemar	Konsentrasi	Nama Tumbuhan	Removal (%)	Sumber, Tahun
1	Al	5,62 mg/L	Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> Mart.)	63	Jayaweera <i>et al.</i> , 2007
2	Al	2,09772mg/g	<i>Amaranthus spp</i>	65,70	Pernanda, 2015
		47,5 mg/mL	<i>Asystassia Intrusa</i>	69	
3	Al	47,5 mg/mL	<i>Cyperus Kyllingia-Rasiga</i>	33	Latif <i>et al.</i> , 2012
		47,5 mg/mL	<i>Scindapsus pictus</i>	33	
4	Al	100mg/L – 150mg/L	<i>Scirpus grossus</i>	8,864mg Al/kg	Ismail <i>et al.</i> , 2017
5	Zn	70 mg/kg	<i>Typha angustifolia</i>	47	Yadav dan Chandra., 2011
6	Pb	266,7 mg/kg	<i>Typha angustifolia</i>	7429,6 mg/kg	Panich-Pat <i>et al.</i> , 2003
7	Al	1900 mg/kg	<i>Paspalum nonatum</i> P.	52,63	Huang <i>et al.</i> , 2009

Berdasarkan Latif *et al.*, (2012), aluminium dengan konsentrasi awal 47,5 mg/mL dapat direduksi oleh *Asystassia Intrusa* sebesar 65%, 33% oleh *Cyperus Kyllingia-Rasiga* dan sebesar 33% oleh *Scindapsus pictus* pada lumpur industri selama 28 hari dimana penyerapannya dipengaruhi oleh perubahan pH dan konduktivitas listrik. Pernanda, (2015) menyatakan bahwa limbah aluminium dengan konsentrasi awal 2,09772 mg/g dapat direduksi oleh tumbuhan *Amaranthus spp.* sebesar 65,70%. Jayaweera *et al.*, (2012) menyatakan bahwa eceng gondok (*Eichhornia crassipes* Mart.) dapat mereduksi aluminium dengan konsentrasi awal 5,62 mg/L sebesar 63% pada media wetlands sistem *batch* selama 15 minggu.

Purnomo *et al.*, (2015) *Cyperus kyllingia* Endl. dapat mereduksi logam arsen (As) dengan konsentrasi awal 1 ppm sebesar 1,93 ppm sedangkan logam timbal (Pb) yang konsentrasi awalnya tidak terdeteksi dapat direduksi sebesar 126 ppb. Siahaan *et al.*, (2014) menyatakan bahwa merkuri (Hg) dengan konsentrasi awal 70 mg/kg dapat

direduksi oleh tumbuhan *Typha angustifolia* sebesar 47%. Menurut Ismail *et al.*, (2017) dengan konsentrasi aluminium yang ditambahkan sebesar 100-150 mg/L tumbuhan *Scirpus grossus* dapat menyisihkan aluminium sebesar 8,864 Al/kg.

Fitoremediasi logam aluminium dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* masih belum banyak dilakukan, meskipun kedua tumbuhan ini mempunyai kemampuan yang tinggi untuk beradaptasi pada jenis tanah yang beragam. Tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* merupakan tumbuhan hiperakumulator dimana tumbuhan ini mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat.

BAB 3

METODE PENELITIAN

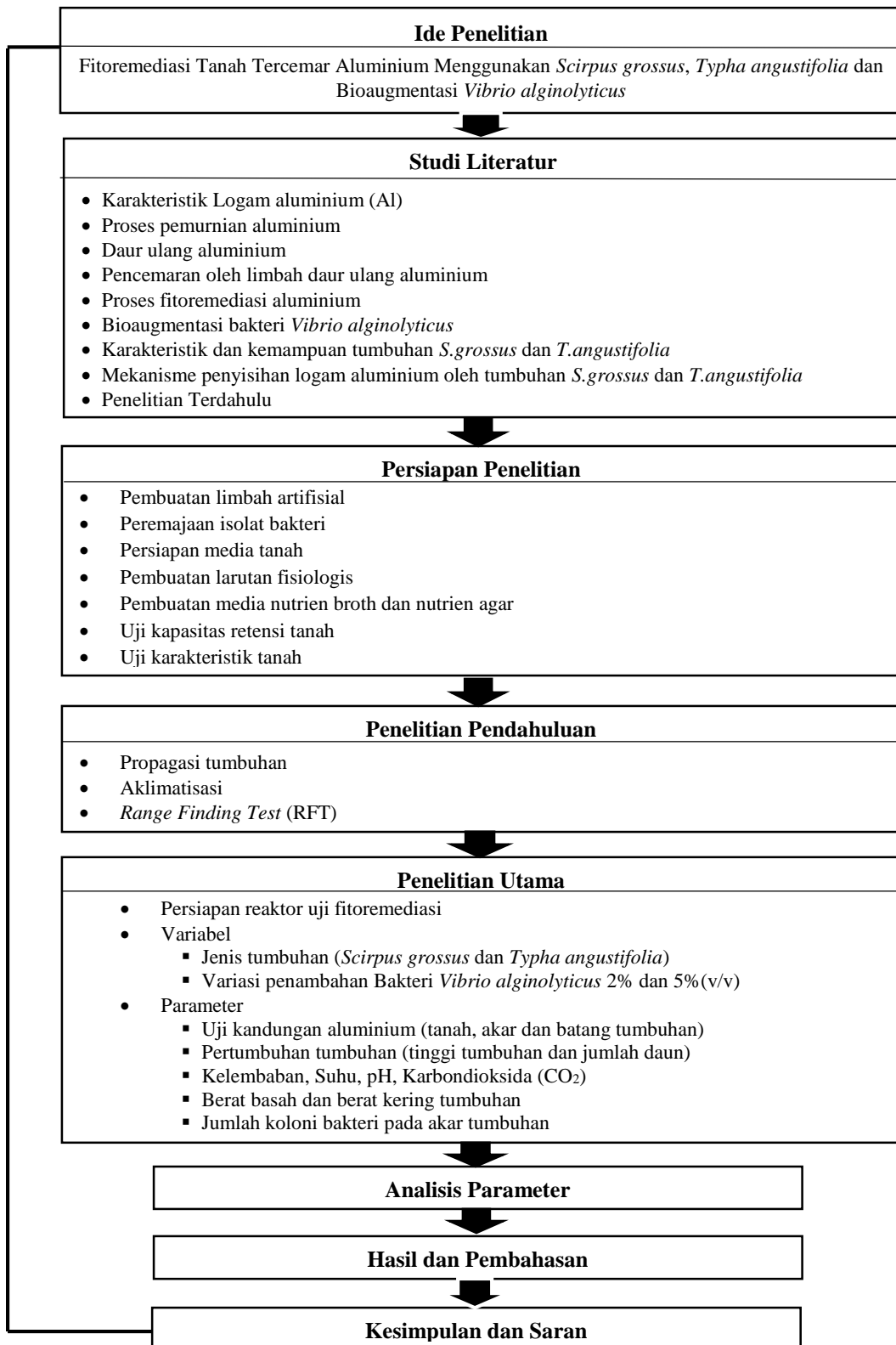
3.1 Gambaran Umum

Metode penelitian merupakan acuan dalam penelitian agar dapat terlaksana sesuai dengan yang telah direncanakan. Penelitian ini membahas mengenai kemampuan tumbuhan *S.grossus*, *T.angustifolia* dan bakteri *V.alginolyticus* untuk mereduksi kontaminan limbah logam aluminium pada tanah menggunakan metode fitoremediasi. Kontaminan pencemar aluminium yang digunakan adalah $AlCl_3$ (*Aluminium Chloride*) dan media uji yang digunakan adalah *spiked soil*. Kerangka penelitian yang digunakan adalah merumuskan ide penelitian, melakukan studi literatur, persiapan penelitian, penelitian pendahuluan yang meliputi propagasi tumbuhan, aklimatisasi tumbuhan dan *Range Finding Test* (RFT).

RFT bertujuan untuk menentukan konsentrasi polutan yang dapat diterima oleh tumbuhan. Hasil *Range Finding Test* tersebut digunakan dalam penelitian utama yaitu uji fitoremediasi. Variabel yang digunakan dalam penelitian utama adalah variasi jenis tumbuhan, volume penambahan bakteri *V.alginolyticus*. Parameter yang diuji adalah kandungan aluminium pada tanah, akar dan batang tumbuhan, morfologi tumbuhan (tinggi tumbuhan dan banyaknya daun), pH, suhu, kelembaban, karbondioksida (CO_2), jumlah koloni bakteri pada akar tumbuhan serta berat basah dan berat kering tumbuhan.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan kerangka dasar sebagai acuan penelitian yang bertujuan untuk mempermudah penulis dalam memahami langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pelaksanaan penelitian. Dengan adanya kerangka penelitian, maka penulis dapat melakukan penelitian secara terstruktur dan sistematis. Gambaran umum penelitian juga membantu pembaca dalam memahami langkah-langkah penelitian. Kerangka penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Industri daur ulang aluminium Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang merupakan jenis industri yang mengolah limbah logam dan telah ada lebih dari 30 tahun. Industri kecil daur ulang limbah aluminium ini menggunakan *slag*, *abu/dross* dan *foil* aluminium sebagai bahan baku untuk di daur ulang menjadi lempengan/batangan yang bernilai ekonomis. Selain menghasilkan batangan/lempengan aluminium yang bernilai ekonomis, industri kecil daur ulang aluminium juga menghasilkan hasil samping berupa limbah dari proses produksi. Limbah ini berupa abu hasil penggilingan, air bekas pada proses pendinginan dan berbagai impuritas. Limbah ini dikategorikan sebagai logam berbahaya karena mengandung logam jenis aluminium yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan akut serta gangguan lingkungan. Limbah cair hasil samping kegiatan produksi dibuang secara langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan air limbah. Impuritas bahan yang ditimbun secara terbuka di area sekitar lokasi industri. Limbah dan bahan impuritas hasil samping kegiatan yang tidak di kelola dengan baik, dimana lokasi industri yang dekat dengan areal persawahan dan pemukiman penduduk menimbulkan dampak negatif berupa gangguan kesehatan dan lingkungan.

Metode remediasi tanah tercemar merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk menangani pencemaran akibat logam. Metode remediasi yang dapat dilakukan dengan fitoremediasi dan bioaugmentasi prinsip pengolahannya adalah teknik pemulihan lahan tercemar melalui proses penguraian kontaminan menggunakan tumbuhan dan isolat bakteri. Tumbuhan yang digunakan merupakan tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang secara alami mampu mengakumulasi logam dalam jumlah besar pada tunas dan permukaan akar. Sedangkan isolat bakteri memiliki kemampuan untuk bertahan terhadap pencemar karena adanya adaptasi terhadap lingkungan yang terkontaminasi. Pada penelitian ini, digunakan 2 jenis tumbuhan yang berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator dan isolat bakteri yang didapatkan dari lokasi daur ulang aluminium. Tumbuhan dan isolat bakteri tersebut diuji kemampuannya dalam mereduksi limbah logam aluminium dengan variasi jenis tumbuhan dan variasi penambahan bakteri.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari sebuah penelitian. Studi literatur bertujuan untuk memberikan pengetahuan dan pemahaman lebih terhadap topik penelitian yang diambil. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini bersumber dari buku, jurnal penelitian nasional maupun internasional, *review* jurnal, *paper*, artikel-artikel, tesis dan disertasi terkait dengan topik penelitian.

Literatur yang dicantumkan pada penelitian ini adalah karakteristik limbah logam aluminium di lingkungan industri kecil. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis limbah yang dihasilkan oleh industri daur ulang. Mekanisme pemurnian aluminium, proses daur ulang aluminium, proses fitoremediasi dan bioaugmentasi, kemampuan tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*, mekanisme penyisihan logam aluminium oleh tumbuhan dan bakteri serta penelitian terdahulu mengenai topik penelitian ini.

3.5 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan dilakukan untuk persiapan sebelum penelitian dilaksanakan. Pada awal pelaksanaan penelitian dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Beberapa hal yang dilakukan dalam tahap ini meliputi:

1. Pembuatan Larutan Stok Aluminium

Larutan stok aluminium berfungsi sebagai limbah pencemar yang akan digunakan pada proses fitoremediasi. Pada penelitian ini, dibuat larutan stok aluminium dengan konsentrasi 50.000 mg/L (Lampiran 1). Pembuatan larutan stok aluminium dilakukan dengan melarutkan bubuk *Aluminium Chloride* ($AlCl_3$) (SAP, Indonesia) dengan konsentrasi yang telah ditentukan ke dalam 1 liter aquadest. Larutan aluminium yang telah homogen disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1,1 atm.

2. Penyiapan Media Tanah

Media tanah yang digunakan merupakan tanah taman. Sebelum digunakan, media tanah tersebut dikeringkan dan diayak agar mendapatkan ukuran yang sama. Pengayakan media dilakukan agar limbah aluminium dapat tercampur secara merata.

Media tanah dibuat dengan mencampur larutan aluminium sebanyak 100 mL yang diencerkan sebanyak 3,3 L aquadest dengan tanah taman 10 kg secara merata. Selanjutnya di tanam tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Media tanah yang digunakan juga dilakukan pengukuran parameter kimia untuk mengetahui kondisi tanah awal. Hal ini menjadi dasar dalam penambahan nutrisi untuk penelitian utama.

3. Pembuatan Larutan Fisiologis

Larutan fisiologis digunakan untuk mengencerkan sampel yang mengandung mikroba agar mempermudah dalam perhitungan total koloni mikroba dan saat *trial and error absorbansi*. Larutan fisiologis dibuat dengan cara melarutkan 8,5 gram NaCl (Merck, Jerman) dalam 1 liter aquadest (OneMed, Indonesia). Setelah dilarutkan, larutan fisiologis diaduk hingga homogen dan disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C.

4. Pembuatan Media *Nutrien Agar* (NA)

Media *Nutrient Agar* (NA) digunakan untuk proses peremajaan isolat bakteri. Pada pembuatan 1 liter media NA membutuhkan 20 gram serbuk NA (Merck, Jerman). Langkah awal yang dilakukan adalah menimbang bubuk NA dengan neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian dilarutkan bubuk NA pada aquadest (OneMed, Indonesia) 1 liter di atas *plate* pemanas. Aduk larutan menggunakan spatula kaca agar tercipta larutan yang homogen. Larutan NA kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi sesuai kebutuhan. Pindahan larutan NA dilakukan dengan segera untuk mencegah terjadinya pematatan NA. Larutan NA pada tabung reaksi kemudian dibungkus kertas coklat untuk proses sterilisasi pada *autoclave* selama ± 60 menit dengan suhu 121°C.

5. Pembuatan Media Agar Miring

Media agar miring NA digunakan sebagai tempat pertumbuhan isolat bakteri. Pembuatan agar miring dilakukan dengan memiringkan tabung reaksi yang berisi NA cair. Kemiringan tabung reaksi dijaga dengan memberikan penyangga pada salah satu sisi tabung reaksi. Setelah didiamkan selama ± 15 menit maka akan terbentuk media agar NA padat dalam keadaan miring. Isolat bakteri akan diinokulasikan pada media agar miring untuk proses peremajaan dan diinkubasi pada suhu 37°C.

6. Peremajaan Isolat Bakteri

Metode yang digunakan pada peremajaan isolat bakteri merujuk pada Machmud (2001) yang telah disesuaikan (Lampiran 2). Pada tahap ini, bakteri uji diremajakan dengan tujuan untuk menjaga indukan bakteri uji agar tidak mati atau terkontaminasi. Dengan peremajaan, didapatkan cadangan persediaan bakteri jika terjadi kesalahan atau kebutuhan bakteri yang melebihi perkiraan. Pemindahan bakteri dilakukan secara aseptik dengan menggunakan jarum ose dari kultur induk ke media agar miring baru. Setelah dilakukan pemindahan, bakteri diinkubasi selama 24 jam. Hal ini dilakukan untuk mempersiapkan bakteri agar dapat digunakan dalam proses penelitian.

7. Pembuatan Media *Nutrien Broth* (NB)

Media *Nutrient Broth* (NB) digunakan untuk proses uji bioaugmentasi bakteri pada penelitian utama (Lampiran 3). Pada pembuatan 1 liter media NB membutuhkan 8 gram bubuk NB (Merck, Jerman). Pembuatan media diawali dengan menimbang bubuk NB pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian dilarutkan pada aquadest (OneMed, Indonesia) dengan mengaduk menggunakan spatula kaca. Pengadukan bertujuan untuk mempercepat terciptanya larutan yang homogen. Larutan NB kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 1000 mL dan dibungkus dengan kertas coklat untuk proses sterilisasi. Sterilisasi dilakukan menggunakan *autoclave* selama \pm 60 menit dengan suhu 121°C.

8. Uji Kapasitas Retensi Tanah

Nilai kapasitas retensi tanah mewakili kepadatan dan kerapatan tanah. Uji kapasitas retensi dilakukan pada media tanah yang digunakan sehingga diketahui densitas tanah tersebut. Tujuannya adalah untuk mengetahui kapasitas volume larutan pencemar (AlCl_3) yang dapat ditampung. Volume larutan pencemar yang ditambahkan harus sesuai dengan kapasitas retensi tanah agar tanah terkontaminasi polutan aluminium secara merata. Uji kapasitas retensi dilakukan pada sebuah corong yang berisi tanah. Kemudian dilakukan penambahan volume air pada tanah hingga tanah berada dalam kondisi basah. Tanah dalam kondisi basah ditandai dengan keluarnya tetesan pertama air dari corong tersebut. Nilai kapasitas retensi didapatkan dengan membagi volume air yang ditambahkan hingga tanah dalam kondisi basah terhadap berat tanah.

9. Uji Karakteristik Tanah

Uji karakteristik tanah yang dilakukan terdiri atas uji kandungan bakteri alamiah, kandungan karbon, nitrogen dan fosfor pada sampel tanah yang digunakan. Uji kandungan bakteri alamiah dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya koloni bakteri alamiah dalam tanah. Uji kandungan bakteri dilakukan dengan menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*) dengan pengenceran bertingkat (Lampiran 6). Bakteri yang ditemukan pada analisis ini dianggap mewakili bakteri alamiah tanah. Kandungan nutrisi tanah diuji untuk mengetahui penambahan nutrisi saat penelitian utama dilakukan.

3.6 Penelitian Pendahuluan

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan *Standard Method (Environmental Protection Agency)*. Sebelum dilakukan analisis, terlebih dahulu dilakukan beberapa penelitian pendahuluan yaitu:

1. Propagasi Tumbuhan

Propagasi dilakukan dengan tujuan untuk memperbanyak bibit tumbuhan yang diperlukan untuk penelitian. Tahap ini dilakukan minimal selama 1 bulan sampai tumbuhan memiliki ukuran dan bentuk tumbuh secara optimum (Suelee, 2015). Pada tahap propagasi, tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dimasukkan ke dalam reaktor berbentuk persegi berbahan plastik ukuran 40 liter dengan tanah kebun dan dilakukan penyiraman secara rutin menggunakan air PDAM. Penyiraman dilakukan 2 kali sehari. Tahap perbanyak tumbuhan diletakkan di Greenhouse Departemen Teknik Lingkungan. Berdasarkan Al-Baldawi *et al.*, (2015), selama masa propagasi dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*).

Pengamatan terhadap *growth rate Scirpus grossus* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik *S.grossus* berupa tinggi tumbuhan dan jumlah daun. Pengamatan terhadap tinggi tumbuhan dilakukan dengan mengukur tinggi *S.grossus* dari atas permukaan media tumbuh sampai pucuk tertinggi

tanpa memperhatikan posisi daun (Mangkoediharjo dan Samudro, 2010) menggunakan penggaris. Pengamatan terhadap *growth rate T.angustifolia* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan *T.angustifolia* berupa tinggi tumbuhan dan banyaknya daun. Pengamatan terhadap tinggi tumbuhan dilakukan dengan mengukur tinggi *T.angustifolia* dari atas permukaan media tumbuh sampai pucuk tertinggi menggunakan penggaris. Pengamatan terhadap jumlah daun dilakukan dengan menghitung jumlah helai daun tumbuhan *T.angustifolia*. Tumbuhan dengan umur dan tinggi yang sama digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000). Tinggi tumbuhan dan banyaknya daun dibuat dalam bentuk grafik.

2. Aklimatisasi Tumbuhan

Tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* yang digunakan untuk tahap aklimatisasi, dipilih sesuai dengan morfologinya. Setelah itu tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* diseleksi dan dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran pada akar tumbuhan. Aklimatisasi tumbuhan bertujuan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang digunakan pada tahap uji RFT dan uji fitoremediasi. Proses aklimatisasi dilakukan dengan meletakkan tumbuhan pada reaktor yang digunakan pada uji fitoremediasi. Tahap aklimatisasi dilakukan selama 7 hari menggunakan media tumbuh yang baru tanpa bahan pencemar dan menggunakan air PDAM. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan karakteristik tumbuh subur. Tumbuhan dengan kondisi yang tidak mati dan tetap bertumbuh yang digunakan untuk tahap RFT dan penelitian utama (Octarina, 2015).

3. Range Finding Test (RFT)

RFT dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan dapat bertahan hidup pada konsentrasi tertentu. Pada tahap ini, dilakukan variasi konsentrasi limbah larutan aluminium yang diberikan pada tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Reaktor yang digunakan adalah ember plastik

bervolume 5 liter yang berisi pasir 5 kg. Tumbuhan yang digunakan pada tahap RFT adalah tumbuhan dari hasil aklimatisasi.

USEPA *Guidelines Part* OPPTS 850.4400 menyatakan bahwa banyak konsentrasi yang divariasikan pada tahap RFT yaitu 5 konsentrasi. Variasi konsentrasi limbah larutan aluminium yang digunakan adalah 10.000, 5.000, 500, 50 dan 0 mg/kg (kontrol). Pada masing-masing konsentrasi diamati morfologi tumbuhan (tinggi tumbuhan dan banyaknya daun), pH, suhu dan kelembaban. Uji RFT dilakukan selama 14 hari. Selama rentang waktu RFT, dilihat tumbuhan yang mengalami perubahan dan mengalami kemampuan bertahan dalam variasi konsentrasi larutan logam aluminium. Akan tetapi, Jika dalam rentang waktu tersebut, tumbuhan mengalami kematian ataupun layu, maka konsentrasi tersebut terlalu tinggi untuk diterima tumbuhan sehingga konsentrasi ini tidak dipilih dalam tahap penelitian selanjutnya (penelitian utama). Untuk konsentrasi yang masih dapat ditoleransi oleh tumbuhan, akan dijadikan konsentrasi dalam pelaksanaan penelitian utama.

Pada tahap RFT jumlah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* yang digunakan berdasarkan densitas masing-masing tumbuhan sesuai dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{Scirpus grossus} &= \text{Densitas } \textit{S.grossus} \times \text{volume retensi} \\ &= 0,1503 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 1650 \text{ cm}^3 = 252,45 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{Scirpus grossus} &= \frac{\text{Massa } \textit{Scirpus grossus}}{\text{berat basah } \textit{Scirpus grossus}} \\ &= \frac{252,45 \text{ gram}}{60 \text{ gram}} \end{aligned}$$

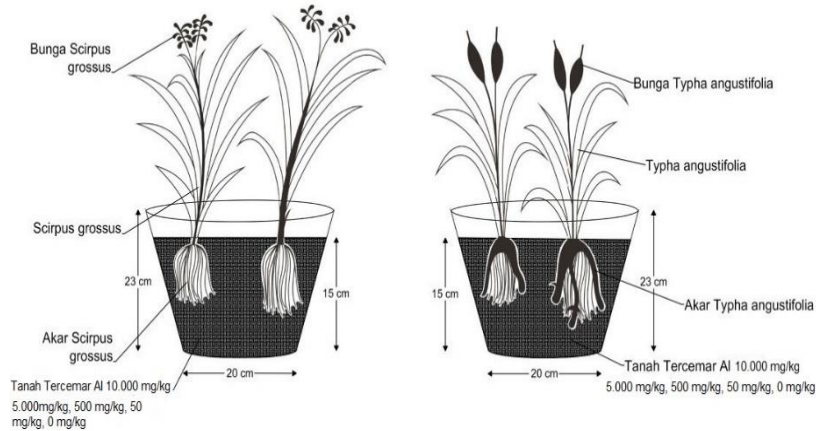
$$= 4,2 \text{ tumbuhan} \approx 4 \text{ tumbuhan}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{Typha angustifolia} &= \text{Densitas } \textit{T.angustifolia} \times \text{volume retensi} \\ &= 0,1189 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 1650 \text{ cm}^3 \\ &= 196,185 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah } \textit{Typha angustifolia} = \frac{\text{Massa } \textit{Typha angustifolia}}{\text{berat basah } \textit{Typha angustifolia}}$$

$$= \frac{196,185 \text{ gram}}{45 \text{ gram}} = 4,3 \text{ tumbuhan} \approx 4 \text{ tumbuhan}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui jumlah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* pada tahap RFT adalah 4 tumbuhan. Gambar 3.2 menunjukkan reaktor uji pada tahap *Range Finding Test*.



Gambar 3.2 Reaktor Uji *Range Finding Test* (RFT)

3.7 Penelitian Utama

Tahap uji fitoremediasi tanah tercemar aluminium menggunakan tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dilakukan dengan sistem secara *batch* sebagai penelitian utama terdiri dari 2 tahap yaitu tahap persiapan reaktor dan uji fitoremediasi. Tahap awal yang dilakukan pada tahap uji fitoremediasi atau penelitian utama adalah persiapan reaktor penelitian utama. Pada tahap penelitian utama digunakan reaktor persegi berbahan plastik dengan ukuran 40 liter dengan volume tanah taman 10 kg. Tanah taman yang digunakan sebelumnya di keringkan terlebih dahulu, lalu diayak dengan ayakan agar mendapatkan ukuran yang sama. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan media tanah. Tanah taman yang telah diayak kemudian dicampur dengan larutan aluminium dengan konsentrasi 500 mg/kg yang didapatkan pada tahap RFT. Kemudian di tanam tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*.

Tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini merupakan tumbuhan yang telah diaklimatisasi. Jumlah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* yang digunakan dalam uji fitoremediasi masing-masing sebanyak 8 tumbuhan. Jumlah tumbuhan yang digunakan pada uji fitoremediasi dihitung dengan meng-*upscale* jumlah tumbuhan

pada tahap RFT, sehingga beban yang diterima oleh tumbuhan pada uji fitoremediasi sama dengan beban yang diterima tumbuhan pada tahap RFT. Perhitungan jumlah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* yang digunakan pada uji fitoremediasi adalah sebagai berikut:

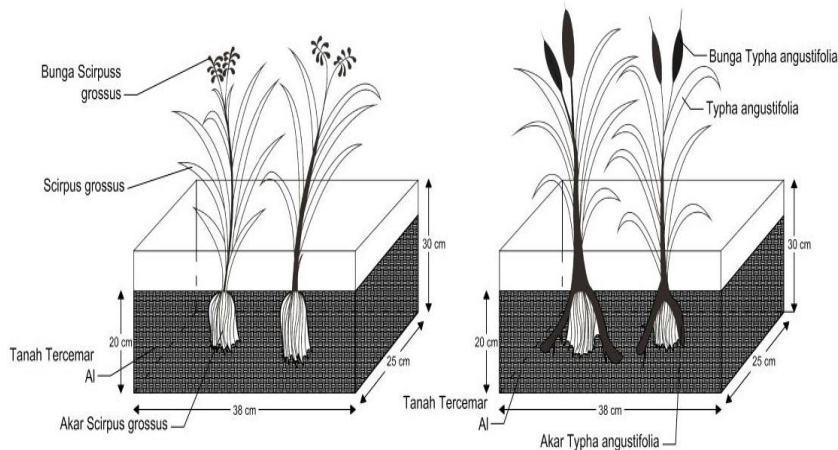
$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi larutan aluminium} &= 500 \text{ mg/kg} \\
 \text{Volume media} &= 10 \text{ kg} \\
 \text{Jumlah tumbuhan pada RFT} &= 4 \text{ tumbuhan} \\
 \text{Beban tumbuhan pada tahap RFT} &= \frac{\text{Konsentrasi Aluminium x Volume Media}}{\text{Jumlah Tumbuhan RFT}} \\
 &= \frac{500 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 10 \text{ kg}}{4 \text{ tumbuhan}} \\
 &= \frac{2500 \text{ mg}}{4 \text{ tumbuhan}} = 625 \text{ mg/tumbuhan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tumbuhan pada tahap uji fitoremediasi} &= \\
 &= \frac{\text{Konsentrasi Aluminium x Volume Media}}{\text{Beban Tumbuhan RFT}} \\
 &= \frac{500 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 10 \text{ kg}}{625 \text{ mg/tumbuhan}} \\
 &= \frac{5000 \text{ mg}}{625 \text{ mg/tumbuhan}} = 8 \text{ tumbuhan}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian utama atau tahap uji fitoremediasi variasi penambahan bakteri *V.alginolyticus* 2% v/v sebanyak 66 mL dan 5% v/v sebanyak 165 mL. Perhitungan volume bakteri yang ditambahkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas retensi tanah} &= 0,33 \text{ mL/gr} \\
 \text{Volume media} &= 10 \text{ kg} = 10.000 \text{ gr} \\
 &= 0,33 \text{ mL/gr} \times 10.000 \text{ gr} \\
 &= 3.300 \text{ mL} = 3,3 \text{ Liter} \\
 \text{Volume Bakteri 2\% v/v} &= 2\% \times 3.300 \text{ mL} \\
 &= 66 \text{ mL} \\
 \text{Volume Bakteri 5\% v/v} &= 5\% \times 3.300 \text{ mL} \\
 &= 165 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian utama tidak ditambahkan nutrisi pada media tanah karena tanah taman yang digunakan telah memenuhi rasio CNP 100:10:1.



Gambar 3.3 Reaktor *Scirpus grossus* dan Reaktor *Typha angustifolia*

3.8 Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel merupakan sesuatu yang bisa diberi nilai sedangkan parameter merupakan sesuatu yang bisa diukur. Variabel dan parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Variabel

Variabel yang digunakan adalah variasi jenis tumbuhan, variasi penambahan volume bakteri *V.alginolyticus*. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Variasi penambahan bakteri *V.alginolyticus* yang digunakan yaitu 2% (v/v) dan 5% (v/v).

b. Parameter

Parameter yang diukur adalah:

1. Uji Kandungan Logam Aluminium

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan logam aluminium, dilakukan pengujian konsentrasi awal dan akhir terhadap kandungan aluminium pada media tanah yang digunakan. Perhitungan efisiensi penyerapan didasarkan pada konsentrasi larutan Al dalam tumbuhan dan konsentrasi penurunan larutan Al dalam media tanah. Rumus yang digunakan adalah:

$$RE (\%) = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Untuk mengetahui kandungan aluminium pada tanah digunakan metode ekstraksi tanah dengan *aqua regia* (Lampiran 5) dan destruksi kering untuk tumbuhan (Lampiran 6). Pada prinsipnya destruksi kering menggunakan asam nitrat untuk mendestruksi zat organik logam menjadi logam-logam anorganik dengan pengabuan sampel dalam *muffle furnace* pada suhu tertentu (Apriyantono dalam Maria, 2009). Analisis kandungan aluminium menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

2. Analisis Morfologi Tumbuhan

Parameter analisis morfologi tumbuhan terdiri dari pengukuran tinggi tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*, dengan menggunakan penggaris. Pengukuran tinggi tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dilakukan dengan cara mengukur dari permukaan tanah hingga helai daun yang tertinggi. Perhitungan jumlah daun dilakukan dengan menghitung banyaknya jumlah daun pada tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Pengukuran ini dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Pengamatan morfologi tumbuhan bertujuan untuk melihat apakah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* masih dapat bertumbuh setelah terpapar larutan aluminium.

3. Analisis Kelembaban

Parameter kelembaban pada media dianalisis sebanyak 5 kali yaitu setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Pengukuran kelembaban pada media akan dilakukan dengan menggunakan Moisture Tester (DragonLab, Indonesia) di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan ITS.

4. Analisis pH

Parameter pH dianalisis sebanyak 5 kali yaitu setiap 7 hari selama 28 hari. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter (pHonLab, USA) di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan ITS.

5. Analisis Suhu

Parameter suhu dianalisis sebanyak 5 kali yaitu setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan thermometer di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan ITS.

6. Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

Parameter berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada awal dan akhir penelitian utama. Pengukuran berat basah dan berat kering tumbuhan menggunakan timbangan neraca analitik dan oven di Laboratorium Pemulihan Air, Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Pengukuran berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Proses pengukuran berat basah dilakukan dengan membersihkan tumbuhan yang diambil langsung dari tempat tumbuhnya, kemudian dibersihkan dari tanah dan ditimbang dengan neraca analitik. Proses pengukuran berat kering, sampel tumbuhan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam (Vemerali *et al.*, 2009) kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 1 jam. Sampel tumbuhan yang sudah dikeringkan ditimbang menggunakan neraca analitik.

7. Jumlah Koloni Bakteri Pada Akar Tumbuhan

Total koloni bakteri dianalisis setelah melakukan proses bioaugmentasi bakteri pada penelitian utama. Analisis jumlah koloni bakteri *Vibrio alginolyticus* dilakukan dengan menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah koloni bakteri yang mampu bertahan dari awal hingga akhir penelitian dilakukan. Jumlah koloni bakteri dilihat pada akar tumbuhan uji.

8. Analisis Karbondioksida (CO₂)

Analisis parameter CO₂ dilakukan sebanyak 5 kali yaitu setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Pengukuran CO₂ dilakukan menggunakan CO₂ meter di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Berdasarkan variabel di atas maka, jumlah reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 9 dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Keseluruhan perlakuan antar variabel pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Matriks Penelitian

Jenis Tumbuhan	Bakteri <i>Vibrio alginolyticus</i>
T ₁	T ₁ B2%
	T ₁ B5%
	T ₁ B ₀
T ₂	T ₂ B2%
	T ₂ B5%
	T ₂ B ₀
T ₀	T ₀ B2%
	T ₀ B5%
	T ₀ B ₀

Keterangan:

- T₁ : *Scirpus grossus*
 T₂ : *Typha angustifolia*
 T₀ : Tanpa tumbuhan
 B₀ : Tanpa bakteri
 Bakteri 2% dan 5% (v/v) : Variasi penambahan bakteri

3.9 Analisis Data dan Pembahasan

Analisa data dan pembahasan dilakukan pada setiap data yang sudah terkumpul dari hasil penelitian. Data yang didapatkan ditampilkan dalam Tabel dan Grafik hubungan antara variabel penelitian serta respon yang diharapkan. Grafik yang dimaksud adalah grafik hubungan antara pertumbuhan tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*, penambahan bakteri *V.alginolyticus* dan persentase penyisihan logam aluminium pada setiap reaktor. Pada analisis data dan pembahasan ini juga dituliskan seluruh hasil penelitian secara deskriptif untuk menjelaskan gambar dan tabel yang ditampilkan. Analisis hasil dan pembahasan yang dituliskan meliputi beberapa hal berikut:

- Pengaruh perbedaan jenis tumbuhan terhadap efisiensi penyisihan logam aluminium.
- Pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* terhadap efisiensi penyisihan logam aluminium.
- Interaksi dan korelasi antar variabel penelitian.

- Hubungan antar parameter dalam penelitian.
- Uji signifikansi dengan *Analysis of Variance* (ANOVA)

3.10 Uji Statistik ANOVA

Analysis of variance atau ANOVA adalah metode statistika yang tergolong analisis komparatif lebih dari dua rata-rata. Penelitian ini menggunakan *General Linear Model* (GLM) ANOVA sebagai metode analisis hasil. Perhitungan GLM ANOVA dilakukan dengan menggunakan aplikasi MiniTab v16. Analisis dengan menggunakan ANOVA bertujuan untuk mengetahui signifikansi (pengaruh) faktor terhadap respon. Penggunaan ANOVA juga bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya interaksi antar faktor yang digunakan serta pengaruh perlakuan masing-masing unit eksperimen terhadap respon.

Pada penelitian ini, digunakan GLM ANOVA pada variasi jenis tumbuhan dan variasi penambahan bakteri untuk tahap utama. Pemilihan variasi jenis tumbuhan dan penambahan bakteri dilakukan dengan uji signifikansi terhadap hasil untuk mendapatkan efisiensi penyisihan aluminium. GLM ANOVA dipilih karena adanya ketidakseimbangan n (jumlah sampel) untuk tiap faktor. Dengan menggunakan GLM ANOVA, urutan dan signifikansi hasil dapat dihasilkan dengan menggunakan data yang tidak seimbang jumlah sampelnya. Pada tahap uji fitoremediasi dilakukan analisis statistik dengan 2 faktor yaitu variasi jenis tumbuhan, variasi penambahan bakteri. Uji lanjut dilakukan dengan metode Tukey ketika didapati salah satu faktor memiliki pengaruh signifikan terhadap respon. Uji lanjut dilakukan untuk mengetahui level manakah dari faktor yang digunakan yang paling berpengaruh terhadap respon.

3.11 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian serta pembahasan didukung dengan analisis data yang digunakan. Kesimpulan menjawab rumusan masalah dan sebanding dengan hasil yang didapatkan dalam penelitian. Kesimpulan merupakan berupa poin-poin yang dapat dibuat secara lugas dan ringkas

dari pembahasan yang dibuat. Kesimpulan yang ditampilkan nantinya memberikan gambaran tentang jenis tumbuhan, bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* dalam menyisihkan logam aluminium.

Saran disusun berdasarkan analisis data hasil penelitian. Saran berisi masukan terhadap penelitian terkait yang dilakukan setelah ini. Saran disusun dalam bentuk poin-poin singkat. Saran berisi rekomendasi terhadap penelitian terkait untuk meminimalisasi kesalahan dan untuk meningkatkan efisiensi penelitian.

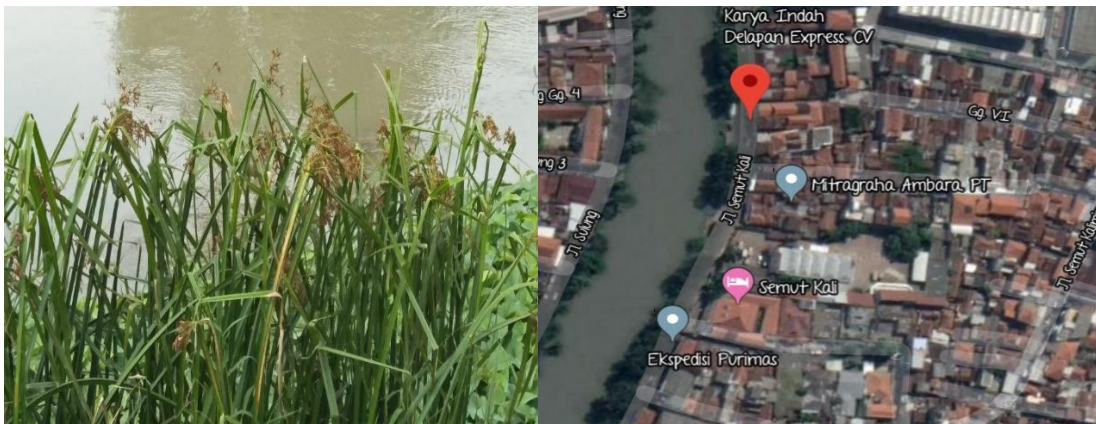
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Propagasi Tumbuhan

Tahap propagasi dilakukan untuk mendapatkan tumbuhan generasi kedua dari tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*. Tahap propagasi dilakukan dengan tujuan untuk mencukupi jumlah tumbuhan yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Selain itu, bertujuan untuk mendapatkan tumbuhan dengan karakteristik yang serupa dengan kondisi awal tumbuhan yang digunakan sama (Karenlampi *et al.*, 2000) dan dapat mengetahui laju pertumbuhan dari tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Tahap propagasi dilakukan selama 1 bulan.

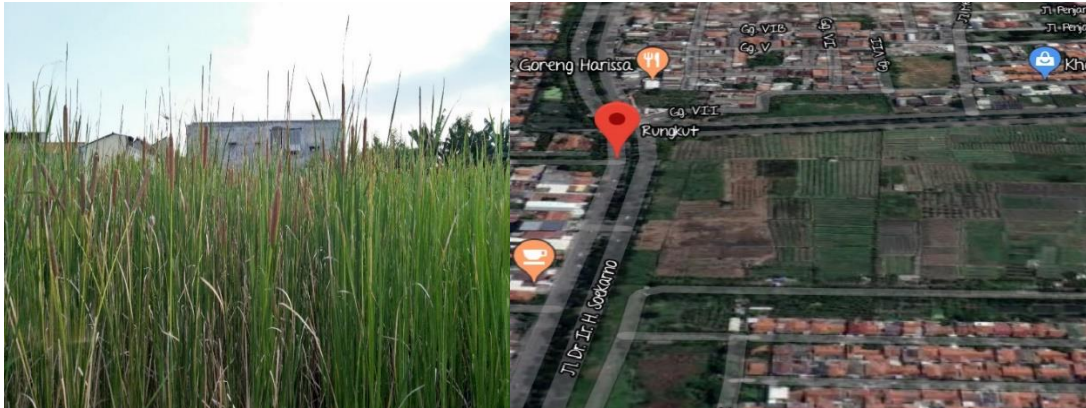
Kebutuhan tumbuhan dalam penelitian ini diambil pada lokasi, dimana tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* berada dalam jumlah yang besar. Kedua tumbuhan ini, tumbuh pada habitat dengan keadaan tanah yang terendam oleh air seperti pada daerah rawa maupun tepian sungai. *S.grossus* diambil di daerah Semut Kali, tepatnya di sisi sungai yang terlihat pada Gambar 4.1. Sedangkan untuk tumbuhan *T.angustifolia* di ambil di daerah Rungkut yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan *Scirpus grossus*

Tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* kemudian ditanam pada reaktor berbahan plastik yang diisi dengan tanah taman dan dilakukan penyiraman secara rutin menggunakan air PDAM. Selama tahap propagasi ini, dilakukan pula pengamatan laju pertumbuhan dari *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Pengamatan laju pertumbuhan dimulai

saat tumbuhan generasi kedua tumbuh dengan cara bertunas. Pengamatan dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik *S.grossus* dan *T.angustifolia* berupa tinggi tumbuhan. Pengamatan tinggi tumbuhan dilakukan dengan mengukur tinggi tumbuhan setiap harinya. Gambar 4.3 menunjukkan reaktor propagasi dan generasi kedua (tunas).



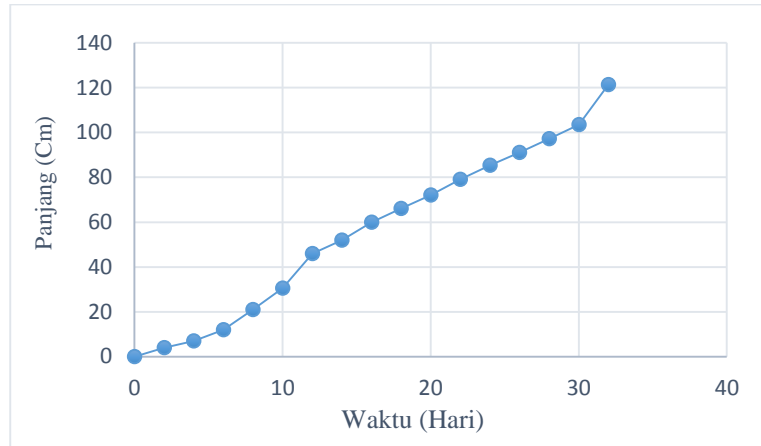
Gambar 4.2 Tempat Pengambilan *Typha angustifolia*



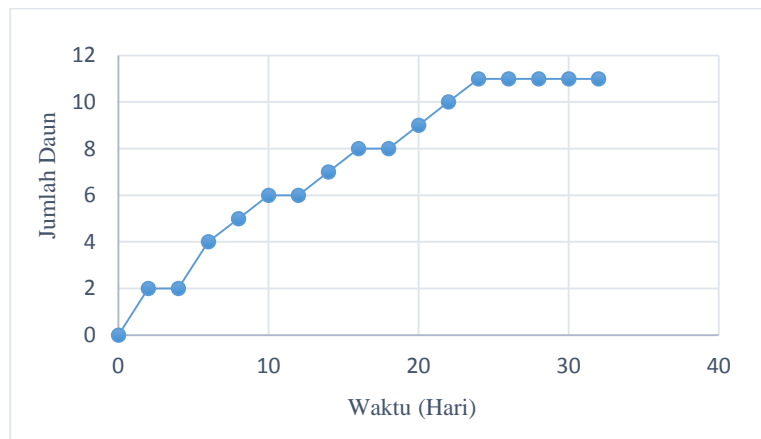
Gambar 4.3 Reaktor Propagasi dan Generasi Kedua (Tunas)

Untuk mengetahui kondisi optimal tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan pengamatan laju pertumbuhan tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Laju pertumbuhan dan banyaknya daun tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dapat dilihat pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.7. Umur tumbuhan yang yang digunakan pada tahap RFT dan uji fitoremediasi di tentukan dari laju pertumbuhan tumbuhan dan banyaknya daun. Umur tumbuhan yang dipilih adalah saat tumbuhan belum mencapai fase generatif agar tumbuhan dapat mendegradasi polutan dengan maksimal. Tinggi

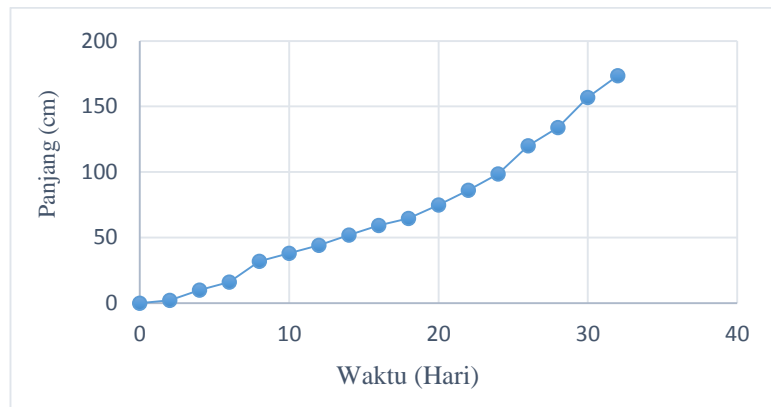
tumbuhan *S.grossus* yang digunakan pada penelitian ini adalah 30 cm dan 5 helai daun, sedangkan untuk tinggi *T.angustifolia* adalah 38cm dan 5 helai daun.



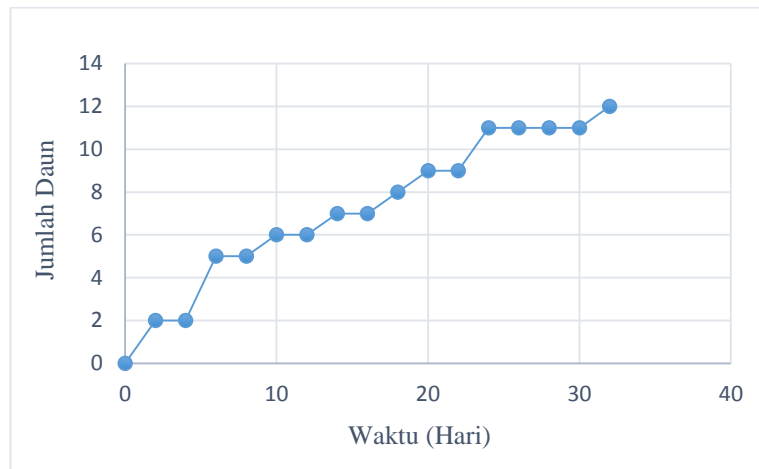
Gambar 4.4 Laju Pertumbuhan *Scirpus grossus*



Gambar 4.5 Pertumbuhan Daun *Scirpus grossus*



Gambar 4.6 Laju Pertumbuhan *Typha angustifolia*



Gambar 4.7 Pertumbuhan Daun *Typha angustifolia*

4.2 Tahap Aklimatisasi Tumbuhan

Setelah mendapatkan umur dan tinggi tumbuhan untuk digunakan dalam penelitian, dilanjutkan dengan tahap aklimatisasi. Aklimatisasi tumbuhan bertujuan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang digunakan pada penelitian ini. Aklimatisasi dilakukan dengan menanam tumbuhan pada reaktor dan tanah yang digunakan pada RFT dan penelitian utama. Tahap aklimatisasi dilakukan selama 7 hari tanpa bahan pencemar dan menggunakan air PDAM. Pada tahap aklimatisasi ini, setelah 7 hari tumbuhan dengan kondisi tidak mati dan tetap bertumbuh yang digunakan pada RFT dan penelitian utama.

4.3 Tahap Range Finding Test (RFT)

Setelah tahap propagasi dan aklimatisasi, penentuan konsentrasi larutan aluminium yang digunakan, ditentukan melalui RFT. Tahap RFT dilakukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan dalam bertahan hidup pada konsentrasi yang diberikan, agar dapat digunakan pada penelitian utama. RFT dilakukan selama 14 hari dengan variasi konsentrasi 10.000, 5.000, 500, 50 dan 0 mg/kg (kontrol). Pada tahap RFT ini diamati tinggi tumbuhan, jumlah daun, pH, suhu dan kelembaban setiap harinya. Konsentrasi limbah yang dipilih adalah konsentrasi yang tidak memberikan efek apapun terhadap tumbuhan. Volume reaktor yang digunakan bervolume 5 liter
















dan volume media sebesar 5 kg. Pada tahap RFT jumlah tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* yang digunakan masing-masing reaktor sebanyak 4 tumbuhan.

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan selama 14 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2), tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* menunjukkan gejala kematian pada konsentrasi 10.000 dan 5000 mg/kg selama 7 hari paparan. Hal ini ditandai dengan adanya perubahan fisik (menguning dan layunya daun) pada kedua tumbuhan tersebut. Sedangkan pada 14 hari paparan *S.grossus* dan *T.angustifolia* baik itu daun, batang dan akar semua bagian tumbuhan tersebut menguning dan mengering yang menandakan tumbuhan tidak dapat tumbuh dengan baik dan mulai mati. Adanya gejala tersebut pada tumbuhan disebabkan oleh keracunan aluminium. Aluminium merupakan salah satu unsur yang bersifat *toxic* dan sangat berbahaya bagi pertumbuhan tumbuhan. Keberadaan Al dapat menyebabkan kerusakan akar, sehingga dapat menghambat penyerapan air dan mineral yang dibutuhkan tumbuhan (Setiadi dan Anira, 2015). Rahmawati (2002) dan Asfaruddin (1997), menyatakan bahwa pertumbuhan tumbuhan yang mengalami penurunan atau menunjukkan gejala kematian dipengaruhi penyerapan N oleh tumbuhan dan defisiensi hara P yang terjadi karena sejumlah Al terakumulasi dalam jaringan tumbuhan sehingga aktivitas metabolisme tumbuhan menurun. Hal tersebut terjadi karena Al mengikat P dalam bentuk fosfat yang tidak tersedia bagi tumbuhan sehingga terjadinya defisiensi hara.
















Tumbuhan yang terpapar larutan aluminium dengan konsentrasi 500, 50, dan 0 mg/kg pada awal hingga akhir tahap RFT tetap tampak segar dan tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Hal itu menandakan kedua tumbuhan tersebut mampu bertahan hidup pada konsentrasi 0 hingga 500 mg/kg. Yang dimaksud dengan tumbuhan mampu bertahan adalah tidak memberikan dampak bagi tumbuhan yaitu daun tumbuhan tetap berwarna hijau dan batangnya tetap segar. Blum (1996) menyatakan bahwa tumbuhan yang mampu beradaptasi terhadap logam Al disebabkan karena tumbuhan tersebut memiliki suatu mekanisme tertentu untuk menekan pengaruh buruk Al sehingga tidak mengganggu serapan hara dan air, juga mampu mengefisienkannya. Dengan demikian dapat ditentukan konsentrasi maksimum yang

dapat diterima oleh kedua tumbuhan tersebut adalah 500 mg/kg, sehingga pada penelitian utama digunakan konsentrasi 500 mg/kg untuk *S.grossus* dan *T.angustifolia*.

Tabel 4.1 Pengamatan *Range Finding Test* Pada *Scirpus grossus*

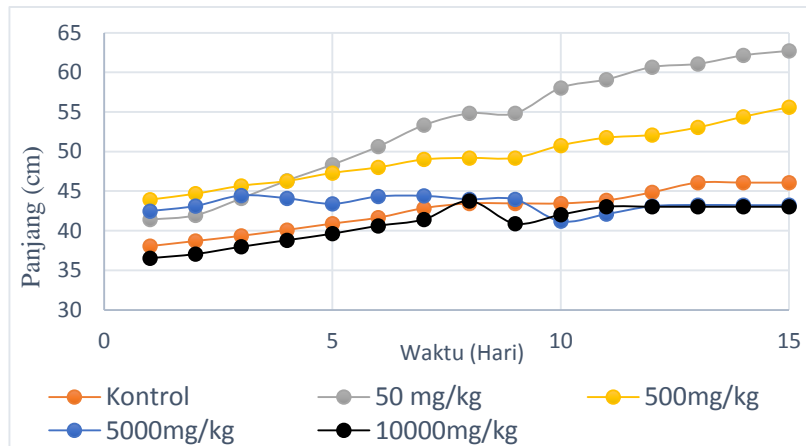
Konsentrasi Limbah Aluminium (mg/kg)	Hari 1	Hari 7	Hari 14
10.000 mg/kg			
5.000 mg/kg			
500 mg/kg			
50 mg/kg			
Kontrol			

Tabel 4.2 Pengamatan *Range Finding Test* Pada *Typha angustifolia*

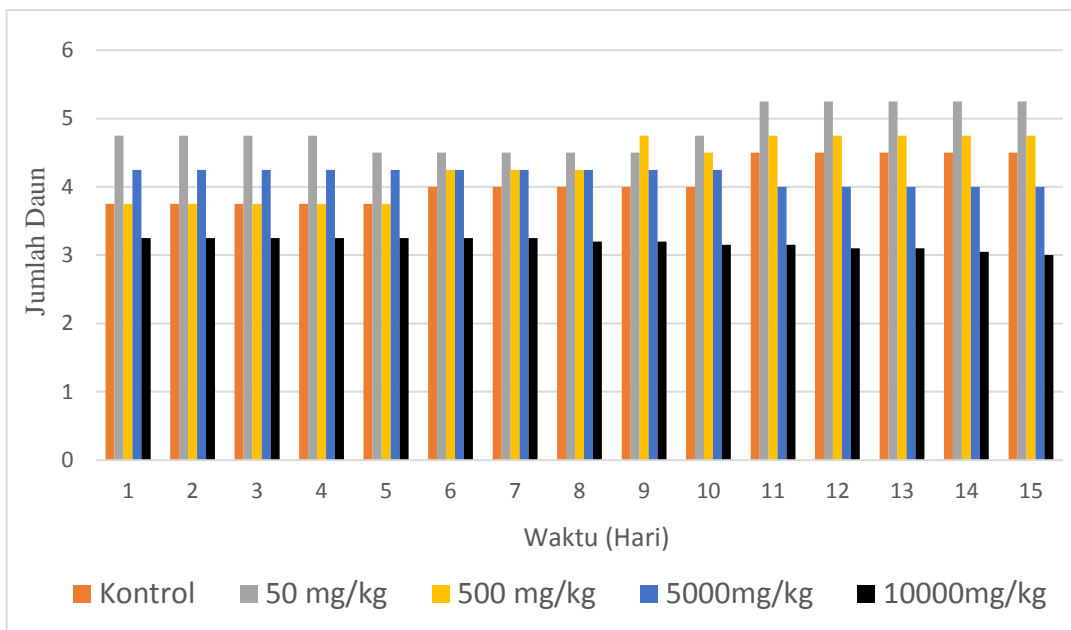
Konsentrasi Limbah Aluminium (mg/kg)	Hari 1	Hari 7	Hari 14
10.000 mg/kg			
5.000 mg/kg			
500 mg/kg			
50 mg/kg			
kontrol			

Parameter pendukung pada tahap RFT meliputi tinggi tumbuhan, banyaknya daun, pH, suhu dan kelembaban. Tinggi tumbuhan dan banyaknya daun diukur setiap harinya selama 14 hari. Tinggi tumbuhan dan banyaknya daun berperan penting pada

pertumbuhan tumbuhan setelah terjadinya paparan larutan aluminium. Hasil pengukuran tinggi tumbuhan dan banyaknya daun *S.grossus* ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan 4.9.



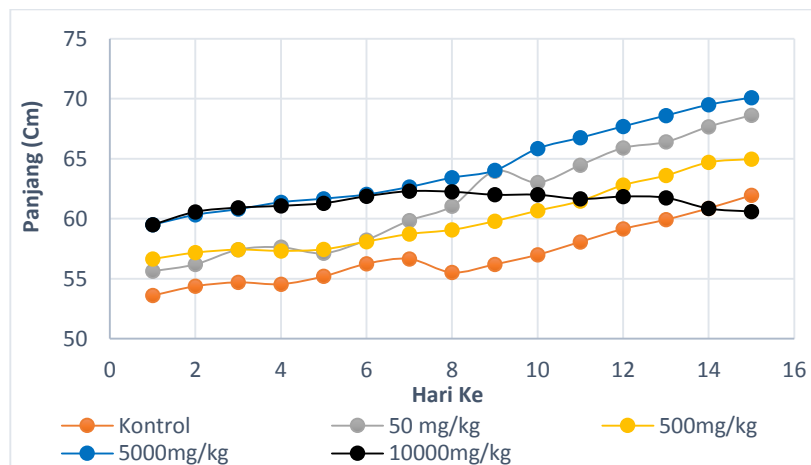
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan *Scirpus grossus*



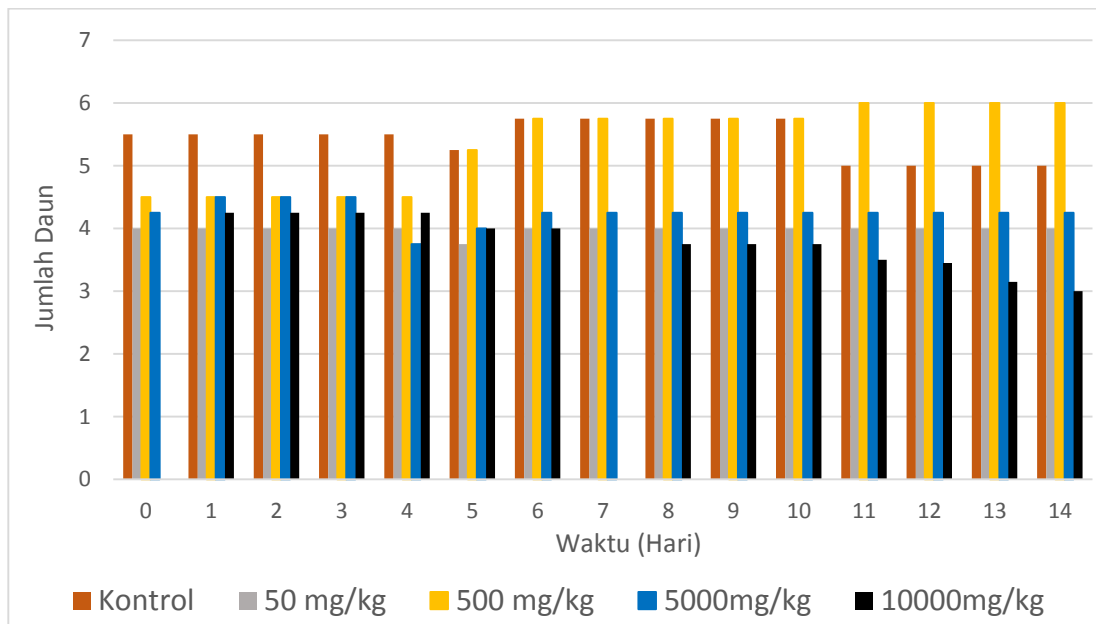
Gambar 4.9 Jumlah Daun Tumbuhan *Scirpus grossus*

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa tinggi tumbuhan dan banyaknya daun tumbuhan *S.grossus* mengalami peningkatan dari awal (hari ke-0) hingga akhir (hari ke-14) pada konsentrasi 0-500 mg/kg. Sedangkan pada konsentrasi 10.000 dan 5.000 mg/kg tinggi tumbuhan *S.grossus* hanya terjadi peningkatan pada

awal (hari ke-0) hingga hari ke-7 dan kemudian terjadi penurunan pada hari ke-8 hingga hari ke 14 paparan. Hal ini disebabkan karena aluminium merupakan salah satu unsur yang bersifat *toxic* dan berbahaya bagi pertumbuhan tumbuhan (Setiadi dan Anira, 2015). Keberadaan Al menyebabkan kerusakan akar, sehingga dapat menghambat penyerapan air dan mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan (Setiadi, 2012).



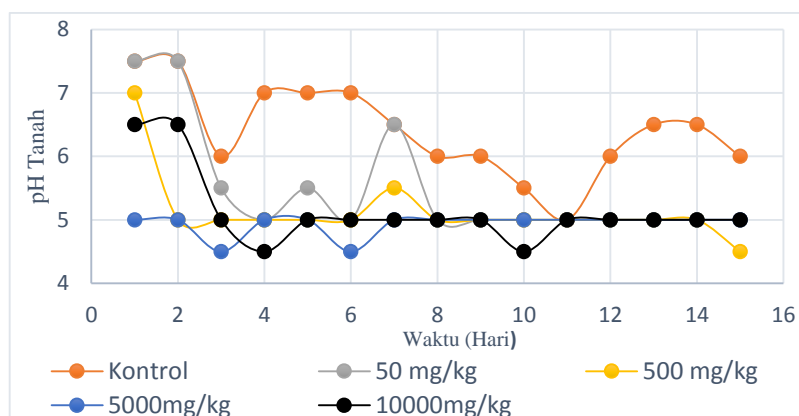
Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan *Typha angustifolia*



Gambar 4.11 Banyaknya Daun *Typha angustifolia*

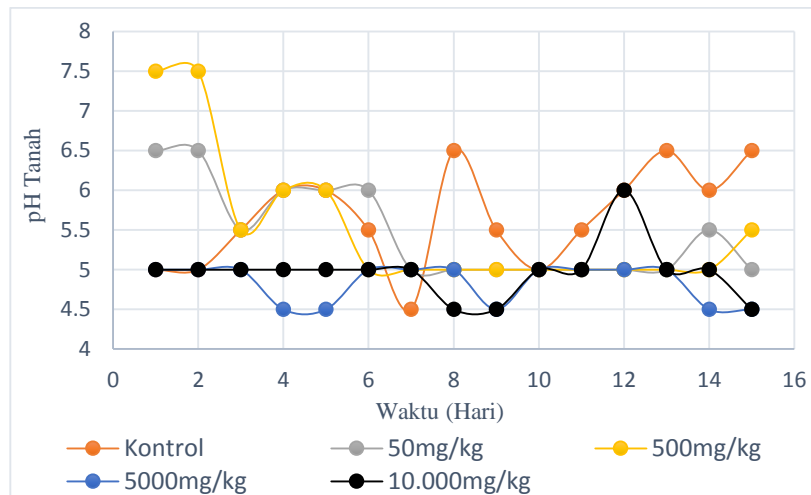
Berdasarkan Gambar 4.10 dan 4.11 tinggi tumbuhan dan banyaknya daun *T.angustifolia* setiap harinya terdapat peningkatan yang bersifat fluktuatif pada konsentrasi larutan aluminium 0-500 mg/kg. Hal ini didukung oleh Watanabe dan Osaki (2002) yang menyatakan bahwa peningkatan pertumbuhan tumbuhan disebabkan oleh aluminium menstimulasi penyerapan unsur hara dan pengaruh fisiologis aluminium sendiri dalam media tanam. Sedangkan pada konsentrasi 5.000-10.000 mg/kg pada hari ke 7 paparan terdapat penyusutan pada tinggi tumbuhan dan banyaknya daun. Hal ini disebabkan karena keracunan aluminium. Aluminium merupakan salah satu unsur yang bersifat *toxic* dan berbahaya bagi pertumbuhan tumbuhan bila berada pada konsentrasi yang tinggi. Hal ini didukung oleh Watanabe dan Osaki (2012) yang menyatakan bahwa keracunan aluminium merupakan salah satu kendala dalam produksi tumbuhan. Pada kondisi tersebut umumnya ketersediaan hara dan kemampuan tumbuhan untuk menyerap hara sangat terbatas karena aluminium memiliki kemampuan mengikat kation.

Parameter pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- dalam larutan air limbah. Tingginya ion H^+ menandakan bahwa larutan aluminium tersebut bersifat asam dan tingginya ion OH^- menandakan bahwa larutan aluminium bersifat basa. Menurut Setiadi (2012) tanah dengan $pH < 4,0$ dapat menyebabkan peningkatan unsur Al dan penurunan unsur P dalam tanah. Pengukuran pH tanah dilakukan setiap harinya selama 14 hari. Hasil pengukuran pH tanah pada reaktor tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* selama tahap RFT dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13 berikut:



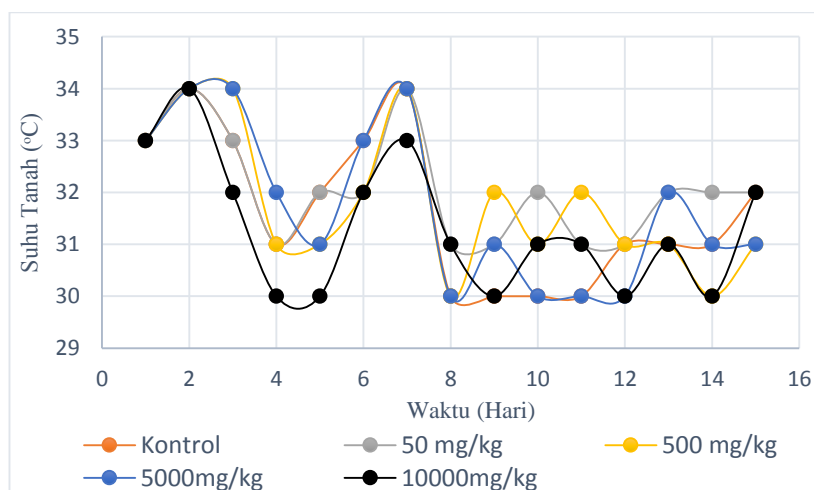
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran pH Tanah Reaktor *Scirpus grossus*

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap pH tanah pada reaktor tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* berkisar antara 4,5 hingga 7,5. Hal ini terjadi karena adanya hidrolisis nutrisi dalam tanah. Kinerja mikroorganisme dalam mengolah bahan pencemar juga dipengaruhi oleh pH. Mikroorganisme dapat bekerja dengan baik pada rentang pH 4,0-9,5.



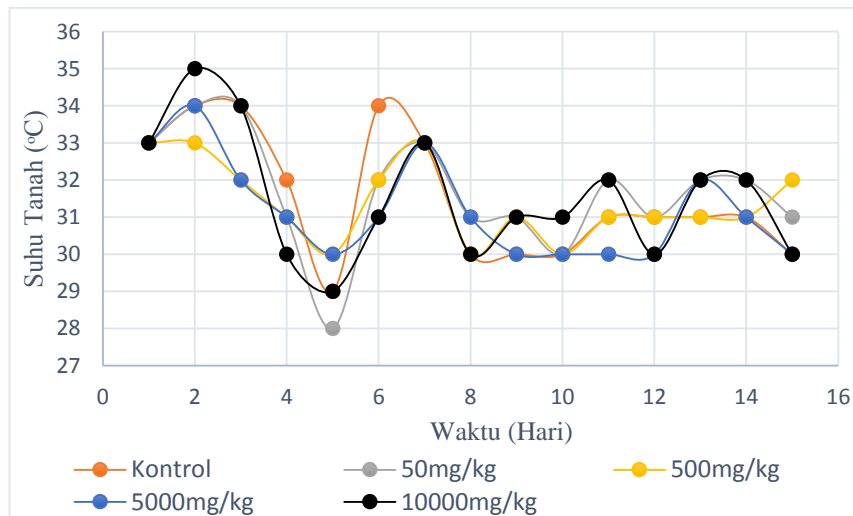
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran pH Tanah Reaktor *Typha angustifolia*

Pengukuran parameter suhu tanah pada reaktor dilakukan setiap harinya selama 14 hari. Hasil pengukuran suhu tanah pada tahap RFT ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan 4.15 berikut:



Gambar 4.14 Pengukuran Suhu Tanah Reaktor *Scirpus grossus*

Berdasarkan Gambar 4.14 dan 4.15 dapat diketahui suhu tiap reaktor berada pada range 30°C hingga 35°C untuk *S.grossus* dan 28°C hingga 35°C untuk *T.angustifolia*. Suhu berperan dalam mempengaruhi proses metabolisme suatu makhluk hidup (Sunarto, 2013). Tumbuhan dapat bekerja optimal dalam menyerap nutrisi dipengaruhi oleh suhu yang ideal.



Gambar 4.15 Pengukuran Suhu Tanah Reaktor *Typha angustifolia*

Kelembaban tanah berperan penting dalam ketersediannya air dalam tanah pada reaktor. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, kelembaban untuk setiap reaktor berada pada nilai 100% kategori *wet⁺* dan tidak mengalami perubahan selama 14 hari. Yang dimaksud dengan kategori *wet⁺* adalah keadaan dimana kondisi tanah basah dan cukup air. Hal ini terjadi karena penambahan larutan aluminium sesuai dengan nilai kapasitas retensi tanah. Dengan kelembaban yang cukup maka tumbuhan dapat menyerap unsur hara dalam tanah dengan optimal. Berdasarkan hasil yang didapatkan pada tahap RFT, maka dapat disimpulkan konsentrasi larutan aluminium yang digunakan pada penelitian utama (uji fitoremediasi) untuk tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* adalah 500 mg/kg.

4.4 Tahap Penelitian Utama

Uji fitoremediasi atau penelitian utama ini dilakukan dengan variasi jenis tumbuhan, variasi penambahan bakteri. Variasi jenis tumbuhan yang digunakan yaitu

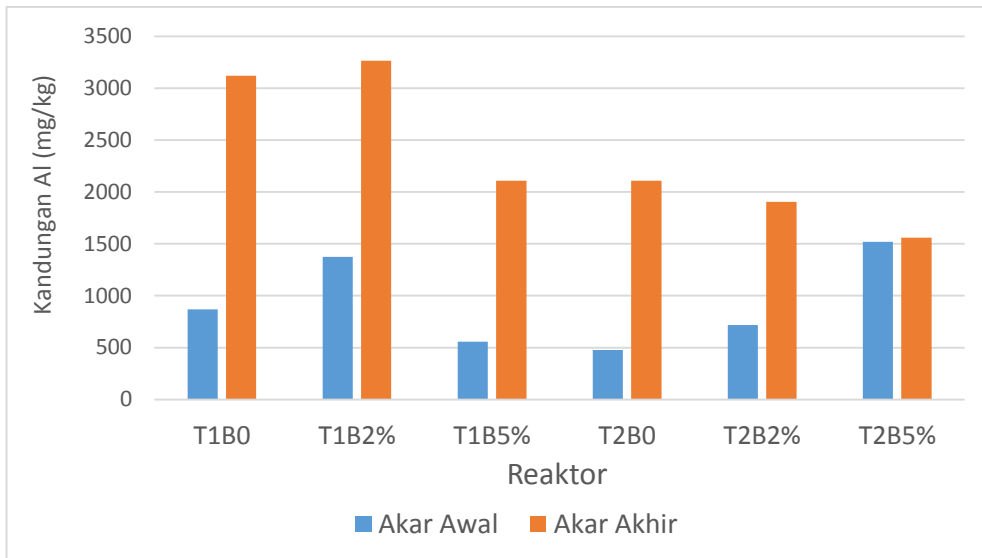
S.grossus dan *T.angustifolia*, 2% (v/v) dan 5% (v/v) untuk variasi penambahan bakteri. Pada tahap penelitian ini, tidak dilakukan penambahan nutrisi karena tanah yang digunakan sudah memenuhi kebutuhan nutrisi dengan rasio 100:10:1. Pada tahap ini digunakan 18 reaktor, yaitu 2 reaktor tumbuhan *S.grossus* tanpa penambahan bakteri *V.alginolyticus*, 2 reaktor tumbuhan *S.grossus* dengan penambahan 2% (v/v) bakteri, 2 reaktor tumbuhan *S.grossus* dengan penambahan 5% (v/v) bakteri, 2 reaktor tumbuhan *T.angustifolia* tanpa penambahan bakteri *V.alginolyticus*, 2 reaktor tumbuhan *T.angustifolia* dengan penambahan 2% (v/v) bakteri, 2 reaktor tumbuhan *T.angustifolia* dengan penambahan 5% (v/v) bakteri, 2 reaktor tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri, 2 reaktor tanpa tumbuhan dengan penambahan 2% (v/v) bakteri dan 2 reaktor tanpa tumbuhan dengan penambahan 5% (v/v) bakteri.

4.4.1 Analisis Kandungan Aluminium Pada Akar dan Batang Tumbuhan

Analisis kandungan aluminium pada akar dan batang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya aluminium yang diserap oleh akar dan batang tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* selama 28 hari pengamatan. Analisis ini dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Hasil uji kandungan Al pada akar dan batang tumbuhan pada setiap reaktor uji selama pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan 4.17.

Berdasarkan Gambar 4.16 dan 4.17 dapat diketahui bahwa hasil uji kandungan aluminium awal pada akar dan batang tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* sudah mengandung Al. Hal ini disebabkan karena tanah yang digunakan pada tahap propagasi (perbanyakan) setelah dianalisis terkandung Al sebesar 101,50 mg/L atau setara dengan 1015 mg/kg. Selain itu, adanya Al dalam akar dan batang tumbuhan terjadi karena proses penyerapan Al pada media sebelumnya. Pada dasarnya Al terkandung dalam tanah secara alami sebagai salah satu unsur mikro. Uji kandungan Al pada akar terbesar terdapat pada reaktor T₁B_{2%} dengan nilai 3264,55 mg/kg dan persentase biomassa akar sebesar 74,77%. Sedangkan untuk batang kandungan Al pada awal penelitian lebih tinggi dibandingkan pada akhir penelitian. Besarnya kandungan Al pada akar disebabkan karena akar merupakan bagian tumbuhan yang memiliki kontak

langsung dengan aluminium melalui media tumbuh. Tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* merupakan tumbuhan air yang memiliki akar serabut.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

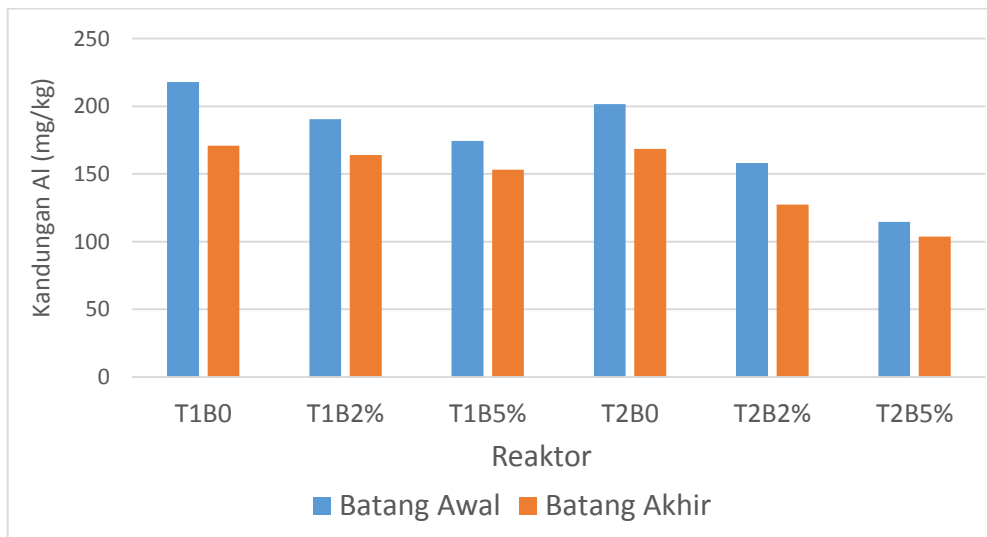
T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.16 Kandungan Aluminium Pada Akar Tumbuhan



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.17 Kandungan Aluminium Pada Batang Tumbuhan

Santriyana *et al.*, (2013) menyatakan bahwa kemampuan tumbuhan air dalam menyerap logam dapat diidentifikasi dari akar serabut yang dimiliki oleh tumbuhan tersebut. Akar serabut memiliki banyak rambut akar dan membentuk cabang yang dapat menyebar kesegala arah sehingga mempunyai kemampuan menyerap logam Al lebih besar. Selain itu, adanya mekanisme interaksi antara logam dengan tumbuhan dimana tumbuhan mampu mengeluarkan eksudat akar seperti asam amino, asam-asam organik atau senyawa lain yang dapat mengakumulasi logam dan kemudian ditranslokasikan ke dalam bagian tumbuhan lainnya. Hal ini didukung oleh Felix dan Donald (2002) yang menyatakan bahwa kemampuan pertumbuhan tumbuhan pada tanah dengan kandungan aluminium yang tinggi adalah dengan menghasilkan eksudat akar (dalam bentuk anion-anion asam organik, gula, vitamin, asam amino, purin, nukleotida, dan ion-ion anorganik). Senyawa-senyawa ini membantu perakaran tumbuhan terhindar dari akibat buruk ion aluminium, sehingga akar sebagai fungsi penyerap hara dan air dapat menjalankan fungsinya. Tingginya penyerapan Al pada akar dipengaruhi oleh lamanya waktu pengamatan. Hal ini didukung oleh Sampanpanish *et al.*, (2010), yang menyatakan bahwa peningkatan akumulasi Al terjadi seiring meningkatnya konsentrasi logam dan waktu, namun dalam waktu yang sama tidak terakumulasi dalam konsentrasi yang tinggi pada bagian batang dan daun (Shahandeh dan Hossner, 2000).

Berdasarkan Gambar 4.16 diketahui bahwa kandungan Al pada akar tertinggi terdapat pada reaktor T₁B_{2%} (*S.grossus* dengan penambahan bakteri 2% v/v). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses bioaugmentasi pada akar tumbuhan *S.grossus*. Selain itu, terjadinya proses bioaugmentasi pada tumbuhan *S.grossus* didukung oleh nilai log CFU jumlah koloni bakteri (Gambar 4.31) terbesar terdapat pada reaktor T₁B_{2%}. Menurut Prijambada (2014), bakteri menghasilkan senyawa polimer ekstraseluler (*Extracellular Polymeric Substances*, EPS) dari tubuhnya. Senyawa EPS tersusun atas berbagai senyawa organik tinggi seperti polisakarida, protein, asam nukleat dan fosfolipida. EPS berperan penting dalam adhesi antarsel, perlindungan sel dari lingkungan yang mengancamnya, degradasi senyawa pencemar, dan absorpsi logam yang terdapat di sekitar sel. Eksopolisakarida dan biopolimer lain penyusun

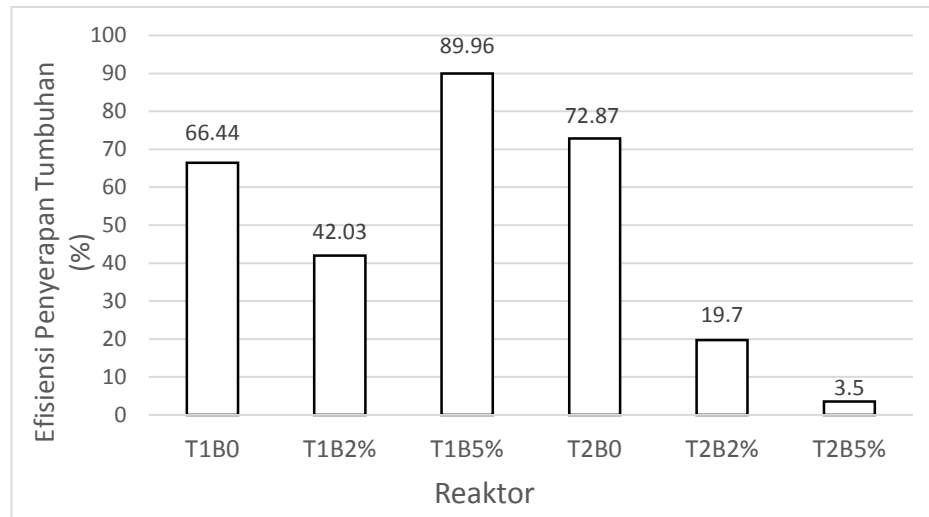
senyawa polimer ekstraseluler memiliki kemampuan mengikat logam karena adanya gugus-gugus fungsional bermuatan negatif seperti gugus fosfat, karboksilat, dan uronat. Produksi EPS ini merupakan salah satu strategi bakteri dalam menetralkan efek toksik aluminium.

4.4.2 Penyerapan Aluminium Oleh Tumbuhan

Penyerapan Al oleh tumbuhan bertujuan mengetahui jumlah konsentrasi Al yang diserap oleh *S.grossus* dan *T.angustifolia*. Proses penyerapan Al oleh tumbuhan mencakup 4 proses yaitu fitostabilisasi, fitoekstraksi (fitoakumulasi), rizofiltrasi dan fitovalatilisasi (Moenir, 2010). Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*) dengan beberapa cara tergantung pada spesies tumbuhannya (Irhamni *et al.*, 2017). Akumulasi Al secara keseluruhan dalam tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* pada reaktor uji menjelaskan bahwa penyerapan Al terjadi pada kedua tumbuhan tersebut. Efisiensi penyerapan Al oleh tumbuhan ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Mekanisme penyerapan Al oleh tumbuhan yaitu Al yang larut masuk ke dalam akar *symplast* dengan melewati membran plasma dari sel-sel akar endodermal atau dapat masuk ke dalam akar *apoplast* (jaringan jarak antar sel-sel tumbuhan) melalui jarak antar sel. Al ditranslokasi ke jaringan aerial (antena), kemudian harus masuk ke dalam xylem. Untuk masuk ke dalam xylem, *solute* (zat yang tidak diurai dalam zat yang lain) harus melewati casparian, suatu lapisan lilin yang tidak dapat ditembus, kecuali melewati sel-sel endodermis yang kemungkinan melalui tindakan pemompaan membran atau saluran. Sesuatu yang bermuatan masuk ke dalam xylem, arus getah xylem akan membawa Al menuju batang dan daun. Al dapat disimpan dalam berbagai jenis sel, tergantung pada spesies dan bentuk logam, karena ini dapat diubah menjadi nontoksik (untuk tumbuhan) melalui konversi kimia atau kompleksasi. Aluminium

dapat dirubah menjadi bersifat volatil dalam beberapa bagian sub sel (dinding sel, sitosol, vakuola) atau volatilisasi melalui stomata (Irhamni, 2017).



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

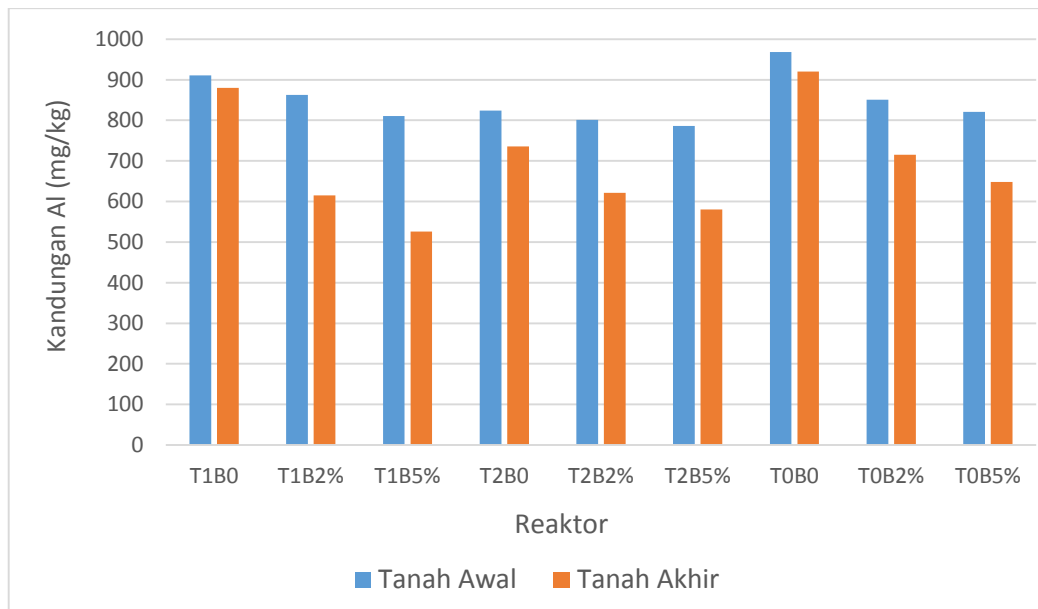
T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.18 Efisiensi Penyerapan Aluminium oleh Tumbuhan

Berdasarkan Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan yang tertinggi terdapat pada reaktor T₁B_{5%} yaitu 89,96%. Tumbuhan *scirpus grossus* memiliki kemampuan beradaptasi untuk bertahan hidup dan mampu menyerap Al pada tanah sehingga menyebabkan kadar Al di tanah menurun dan meningkat pada tumbuhan. Meningkatnya kadar Al pada tumbuhan dikarenakan tumbuhan mampu mengakumulasi 74,47% biomassa tumbuhan. Shahandeh dan Hossner (2000) menyatakan bahwa potensi fitoremediasi dari tumbuhan terbatas karena logam berat diakumulasi pada akar tumbuhan. Hasil penelitian Tahira (2006) menyatakan bahwa tumbuhan yang terpapar logam berat disimpan dalam proporsi yang besar dalam akar yang memiliki toleransi yang tinggi dari pada batang dan daun dalam mengakumulasi logam yang tinggi. Hal ini juga didukung oleh beberapa penelitian oleh Ghosh dan Singh (2005) dan Badr *et al.*, (2012).

4.4.3 Analisis Kandungan Aluminium Pada Tanah

Analisis kandungan aluminium pada tanah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan aluminium menggunakan tumbuhan *S.grossus*, *T.angustifolia* dan bioaugmentasi *V.alginolyticus*. Analisis kandungan aluminium ini dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Analisis awal dilakukan untuk mengetahui berapa besar kandungan aluminium pada tanah awal (hari ke-0). Sedangkan analisis akhir dilakukan untuk mengetahui berapa besar kandungan Al pada tanah selama 28 hari pengamatan. Hasil uji kandungan Al pada tanah pada setiap reaktor uji selama pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

T₀B₀ = Tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri

T₀B_{2%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 2% (v/v)

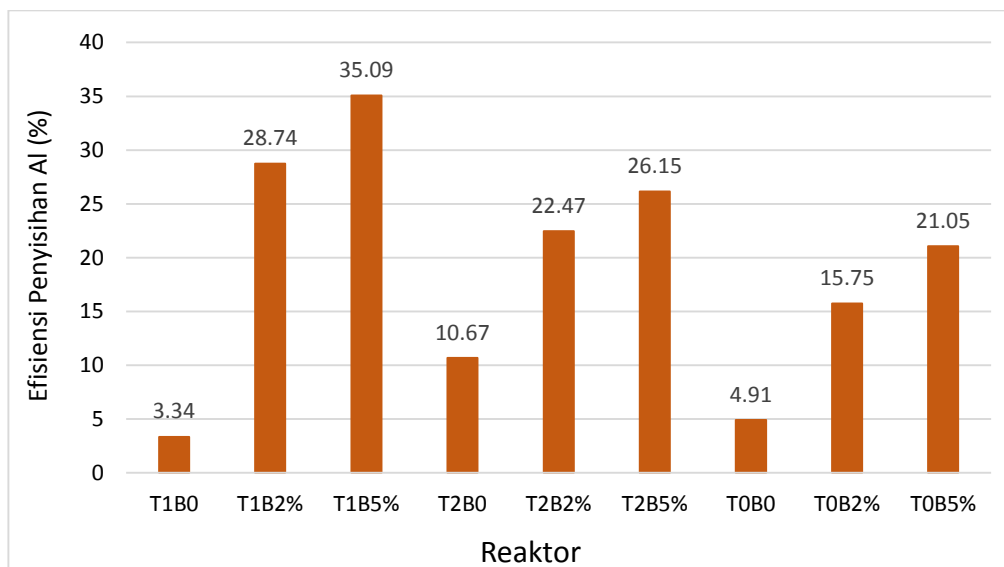
T₀B_{5%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.19 Kandungan Aluminium Pada Tanah

Berdasarkan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa tanah pada tiap reaktor pada awal penelitian (hari ke-0) terdapat kandungan Al. Kandungan aluminium pada tanah sebesar 78,60-96,80 mg/L atau setara dengan 786-968 mg/kg tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa media tanah yang digunakan dalam penelitian ini, telah

mengandung Al. Tsakiridis (2012) menyatakan bahwa aluminium merupakan salah satu unsur kimiawi yang menyusun lapisan kerak bumi. Secara keseluruhan, reaktor T₁B_{5%} dengan *S.grossus* dan penambahan bakteri 5% (v/v) selama 28 hari pengujian mengalami penurunan kandungan aluminium sebesar 52,60 mg/L atau setara dengan 526 mg/kg. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses fisiologis biokimia oleh tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dalam proses penyerapan dan akumulasi. Hal ini di dukung oleh Hidayati (2013) yang menyatakan bahwa terjadi rangkaian proses fisiologis yang berperan dalam akumulasi logam sepanjang siklus hidup tumbuhan.

Efisiensi penyisihan Al didasarkan pada konsentrasi Al dalam tumbuhan dan konsentrasi penurunan Al dalam media tanah. Berdasarkan hasil uji kandungan Al diketahui bahwa, penurunan kadar Al pada reaktor setelah perlakuan uji fitoremediasi menunjukkan adanya penurunan kadar Al dilihat berdasarkan jumlah kadar Al yang berkurang pada media tumbuh. Efisiensi penyisihan aluminium yang terjadi pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

T₀B₀ = Tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri

T₀B_{2%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 2% (v/v)

T₀B_{5%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.20 Efisiensi Penyisihan Aluminium

Berdasarkan hasil uji ANOVA yang dilakukan untuk melihat ada tidaknya hubungan yang nyata antara jenis tumbuhan terhadap efisiensi penyisihan Al, didapatkan nilai $Pvalue < \alpha$. Pada hasil uji ANOVA tersebut nilai $Pvalue$ sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak. Hipotesis awal (H_0) dalam penelitian ini adalah bahwa faktor jenis tumbuhan tidak berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan Al (respon). Maka dapat disimpulkan bahwa jenis tumbuhan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan Al selama 28 hari.

Berdasarkan Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa pada masing-masing reaktor uji dengan penambahan bakteri efisiensi penyisihan Al terbesar 35,09% ($T_1B_{5\%}$) dan terkecil 15,75% ($T_0B_{2\%}$) sedangkan pada reaktor tanpa penambahan bakteri efisiensi penyisihan Al terbesar 10,67% (T_2B_0) dan terkecil 3,34% (T_1B_0). Hal ini menandakan reaktor dengan penambahan bakteri *V.alginolyticus* menunjukkan besarnya efisiensi penyisihan Al dibandingkan reaktor tanpa penambahan bakteri. Untuk menyatakan ada tidaknya hubungan yang nyata antara variasi penambahan bakteri terhadap efisiensi penyisihan Al maka diperlukan uji secara statistik. Uji statistik yang digunakan adalah uji ANOVA yang digunakan untuk mengetahui signifikansi penyisihan Al dengan variabel yang digunakan. Hasil uji statistik ANOVA dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Analysis of Variance for Efisiensi Penyisihan Al (%), using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Jenis Tumbuhan	2	862.20	862.20	431.10	64.86	0.000
Penambahan Bakteri	2	506.69	506.69	253.34	38.11	0.000
Error	13	86.41	86.41	6.65		
Total	17	1455.30				

S = 2.57815 R-Sq = 94.06% R-Sq(adj) = 92.24%

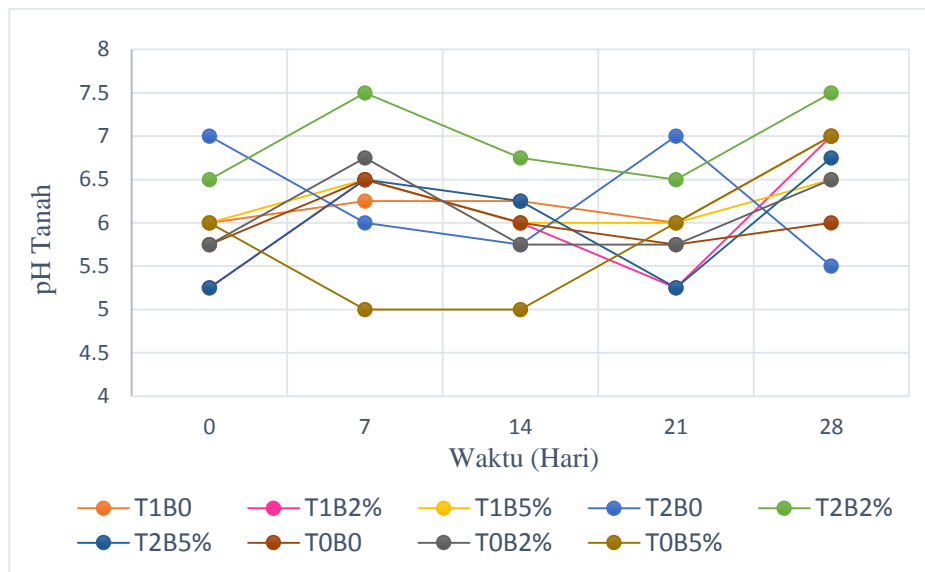
Gambar 4.21 Hasil Analisa Uji ANOVA Pada Penambahan Bakteri Terhadap Efisiensi Penyisihan Al

Berdasarkan Gambar 4.21 diketahui bahwa $Pvalue$ untuk variabel penambahan bakteri terhadap efisiensi penyisihan Al (respon) sebesar 0,000 dengan rentang kepercayaan 95%, dan $\alpha = 0,05$. Nilai $Pvalue < \alpha$ sehingga H_0 ditolak. Hipotesis awal

(H₀) dalam penelitian ini adalah bahwa faktor penambahan bakteri *V.alginolyticus* tidak berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan Al (respon). Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa variabel penambahan bakteri berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan Al selama 28 hari.

4.4.4 Analisis pH Tanah

Hasil pengukuran pH tanah sebanyak 5 kali selama 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut:



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

T₀B₀ = Tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri

T₀B_{2%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 2% (v/v)

T₀B_{5%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.22 Hasil Pengukuran pH Tanah

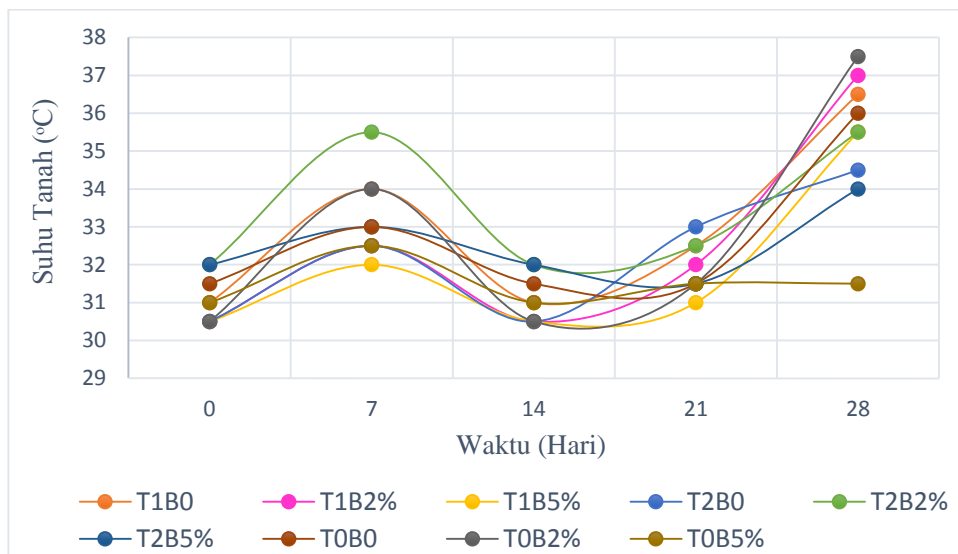
Berdasarkan Gambar 4.22, dapat dilihat pada hari ke 7 reaktor dengan penambahan bakteri 2% (v/v) mengalami kenaikan pH hingga berada pada rentang 6,0-8,0. Hal ini disebabkan karena terjadinya hidrolisis nutrien dan bahan-bahan yang tersedia dalam tanah. Hasil dari hidrolisis nutrien dan bahan-bahan yang tersedia cenderung menaikkan nilai pH tanah pada reaktor. Peningkatan pH juga dapat

disebabkan oleh adanya kemampuan bakteri dalam melakukan respon toleransi asam dengan mekanisme pompa hidrogen dengan melakukan pertukaran kation K^+ dari dalam sel dan menukarnya dengan H^+ yang terdapat pada lingkungannya, sehingga keasaman lingkungan dikurangi (Rosenberg *et al.*, 1992). Bakteri *V.alginolyticus* dapat bertahan pada pH 4-9 dan tumbuh optimal pada pH 6,5–8,5 atau kondisi alkali dengan pH 9,0. Sedangkan untuk reaktor penambahan bakteri 5% (v/v), tanpa penambahan bakteri dan tanpa tumbuhan cenderung stabil yakni berada pada rentang 5,0-7,0. Perubahan nilai pH juga disebabkan oleh adanya proses fotosintesis dimana nilai pH berkaitan dengan nilai karbondioksida (CO_2). Tumbuhan mengeluarkan CO_2 sebagai hasil samping respirasi pada malam hari yang menyebabkan berkurangnya ion H^+ sehingga kondisi tanah pada reaktor bersifat basa.

Haryati *et al.*, (2012) menyatakan bahwa nilai pH mempengaruhi kelarutan Al, karena tidak adanya pengadukan dalam perlakuannya sehingga menyebabkan Al seluruhnya tidak larut namun sebagian mengendap di dasar reaktor. Peningkatan pH menyebabkan menurunnya kelarutan oksigen dan meningkatkan toksisitas Al. Selain itu, nilai pH dipengaruhi oleh suhu dan salinitas air. Dalam hal ini suhu mengalami penurunan, yang menyebabkan kenaikan kelarutan oksigen dan pH meningkat (bersifat basa).

4.4.5 Analisis Suhu Tanah

Pengukuran suhu menggunakan termometer tanah pada masing-masing reaktor dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Suhu memiliki peranan penting dalam proses fotosintesis, sehingga ketika suhu meningkat produksi energi cenderung meningkat (Damanik, 2018). Namun apabila suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein enzim, sehingga mempengaruhi penyerapan mineral. Sedangkan apabila suhu terlalu rendah dapat menyebabkan pertumbuhan tumbuhan menjadi lambat bahkan terhenti, karena kinerja enzim juga dipengaruhi oleh suhu. Tumbuhan dapat bekerja menyerap nutrisi dengan ideal juga di pengaruhi oleh suhu yang ideal (Maharddhika, 2018). Hasil pengukuran suhu pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

T₀B₀ = Tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri

T₀B_{2%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 2% (v/v)

T₀B_{5%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.23 Hasil Pengukuran Suhu Tanah

Berdasarkan Gambar 4.23, dapat dilihat bahwa suhu media tanah berkisar antara 30°C hingga 38°C dan cenderung sama untuk setiap reaktor. Hal ini disebabkan karena peletakkan semua reaktor pada satu lokasi. Pada awal penelitian (hari ke-0) suhu media tanah pada setiap reaktor berkisar antara 30°C hingga 32°C, sedangkan pada hari terakhir penelitian (hari ke-28) suhu media tanah pada setiap reaktor mengalami peningkatan yaitu berkisar 34°C hingga 38°C. Hal ini berarti selama pelaksanaan penelitian suhu tanah pada setiap reaktor bersifat fluktuatif. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh kondisi lingkungan tempat reaktor di tempatkan. Rentang suhu media tanah pada reaktor tanpa tumbuhan, penambahan bakteri dan nutrisi berkisar antara 31°C hingga 36°C.

Suhu media tanah pada reaktor dengan penambahan bakteri *V.alginolyticus* 2% (v/v) dan 5% (v/v) berkisar antara 30°C hingga 36°C. Menurut Prajitno (2007), suhu optimum untuk pertumbuhan *Vibrio* sp. berkisar antara 30°C-35°C sedangkan pada suhu 4°C dan 45°C bakteri tidak dapat tumbuh. Bakteri *Vibrio* sp. akan mati bila berada

pada suhu 55°C. Mengacu pada Prajitno (2007) maka dapat diketahui bahwa bakteri *V.alginolyticus* berada pada rentang suhu optimum yang mendukung pertumbuhan bakteri tersebut.

4.4.6 Analisis Kelembaban

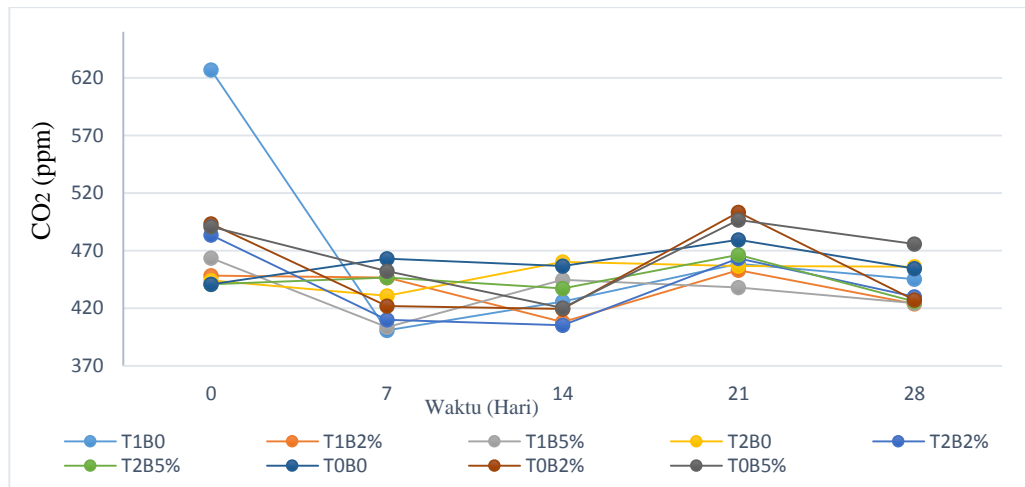
Pengukuran kelembaban tanah dilakukan menggunakan alat ukur kelembaban tanah. Hasil pengukuran kelembaban tanah pada masing-masing reaktor yang dilakukan setiap 7 sekali selama 28 hari tidak mengalami perubahan atau tetap dimana berada pada nilai 80-100% dalam kategori *wet+*. Jamulya dan Suratman (1993) kelembaban tanah terdiri atas air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah yang berada diatas permukaan tanah. Kelembaban tanah berperan penting dalam menjaga ketersediaan air dalam tanah sehingga tumbuhan dapat menyerap nutrisi, mengontrol gerakan zat terlarut, kelarutan garam, reaksi kimia dan aktivitas mikrobiologi dalam tanah. Dalam pengamatan fisik yang dilakukan, terjadi pengurangan volume larutan aluminium pada tiap reaktor. Hal ini dikarenakan adanya proses penguapan yang dilakukan oleh masing-masing tumbuhan sehingga volume larutan aluminium pada masing-masing reaktor menjadi berkurang. Kondisi kelembaban dengan nilai 80-100% merupakan kondisi yang baik untuk tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* karena pada umumnya kedua tumbuhan tersebut hidup pada lahan basah.

4.4.7 Analisis Karbondioksida (CO₂)

Pengukuran konsentrasi CO₂ dilakukan menggunakan alat CO₂ meter *portable* yang menggunakan prinsip NDIR (*non dispersive infrared*) sensor, merupakan sebuah metode spektroskopi yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas. Analisis ini dilakukan dengan cara tumbuhan pada reaktor ditutup menggunakan plastik transparan (dapat dilihat Gambar 4.24). Pengukuran konsentrasi CO₂ dilakukan pada siang hari karena fotosintesis sedang terjadi, sehingga dapat diketahui tingkat serapan masing-masing tumbuhan dari aktivitas fotosintesisnya. Hasil analisis terhadap CO₂ ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.24 Pengukuran CO₂ menggunakan CO₂ Meter



Keterangan:

- | | |
|--|---|
| T ₁ B ₀ = <i>S.grossus</i> dan tanpa penambahan bakteri | T ₂ B _{5%} = <i>T.angustifolia</i> + bakteri 5% (v/v) |
| T ₁ B _{2%} = <i>S.grossus</i> + bakteri 2% (v/v) | T ₀ B ₀ = Tanpa tumbuhan dan penambahan bakteri |
| T ₁ B _{5%} = <i>S.grossus</i> + bakteri 5% (v/v) | T ₀ B _{2%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 2% (v/v) |
| T ₂ B ₀ = <i>T.angustifolia</i> dan tanpa penambahan bakteri | T ₀ B _{5%} = Tanpa tumbuhan + bakteri 5% (v/v) |
| T ₂ B _{2%} = <i>T.angustifolia</i> + bakteri 2% (v/v) | |

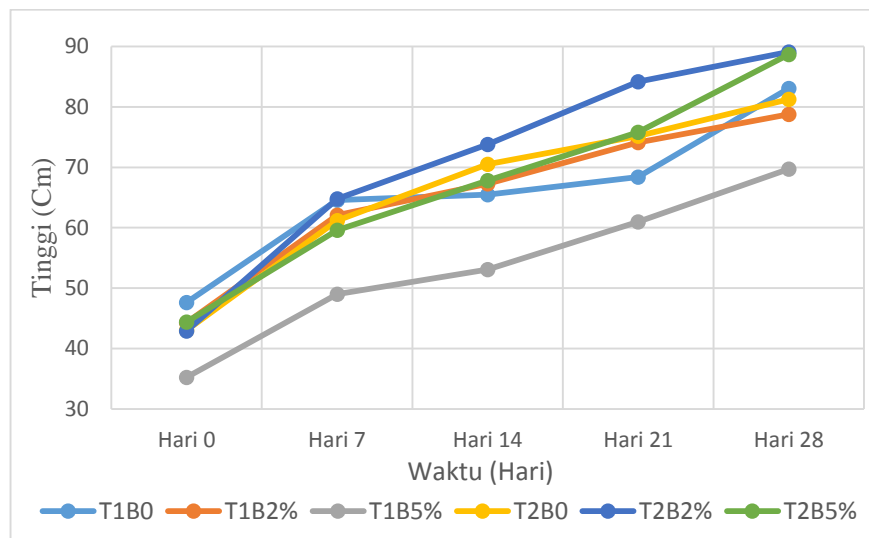
Gambar 4.25 Hasil Pengukuran CO₂

Berdasarkan Gambar 4.25, konsentrasi CO₂ bersifat fluktuatif. Dimana konsentrasi CO₂ pada hari ke-0 tertinggi dengan nilai sebesar 627 ppm, selanjutnya konsentrasi CO₂ yang terukur cenderung menurun hingga 403 ppm dan kemudian terjadi peningkatan konsentrasi CO₂ hingga 503 ppm. Penurunan dan peningkatan konsentrasi CO₂ terjadi karena tumbuhan telah mencapai titik saturasinya. Yang dimaksud dengan titik saturasi tumbuhan adalah titik dimana peningkatan intensitas cahaya hanya menghasilkan sedikit atau tidak ada peningkatan CO₂ pada tumbuhan

tersebut. Setiap jenis tumbuhan menunjukkan titik saturasi yang berbeda, tergantung pada toleransi tumbuhan tersebut terhadap variasi intensitas cahaya yang diterima.

4.4.8 Analisis Morfologi Tumbuhan

Analisis morfologi tumbuhan meliputi tinggi tumbuhan dan banyaknya daun. Analisis morfologi tumbuhan dilakukan dengan melihat perubahan dari tinggi tumbuhan dan banyaknya daun selama periode penelitian. Parameter ini diukur setiap 7 hari sekali selama 28 hari penelitian dilaksanakan. Hasil analisis terhadap tinggi tumbuhan dan banyaknya daun tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Keterangan:

T1B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T1B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T1B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T2B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

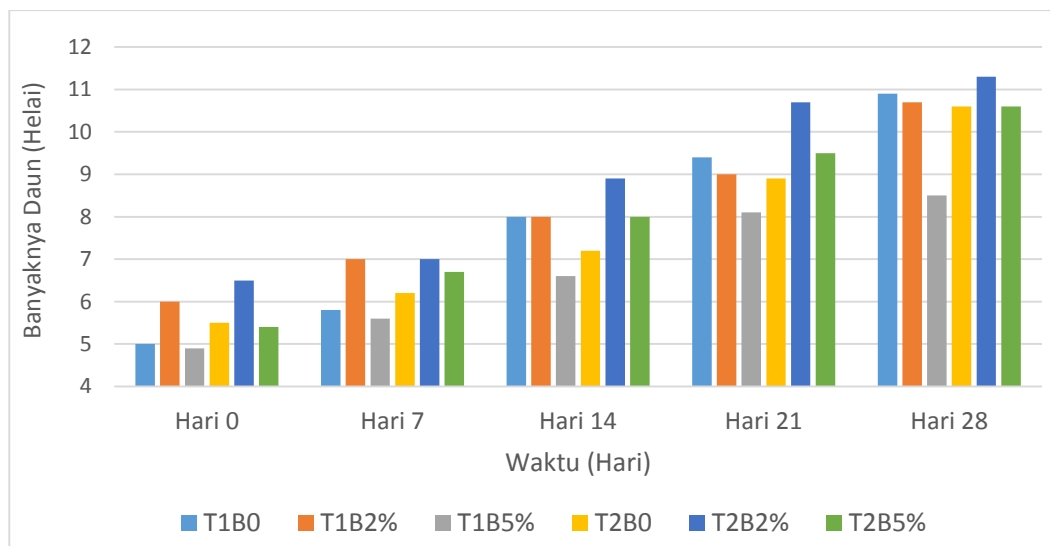
T2B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T2B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.26 Hasil Pengukuran Tinggi Tumbuhan

Terlihat pada Gambar 4.26 dan 4.27 bahwa terjadi peningkatan tinggi tumbuhan dan banyaknya daun pada tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* saat terpapar larutan aluminium. Rata-rata pertumbuhan tinggi tumbuhan *S.grossus* pada reaktor uji mencapai 4–6 cm sedangkan untuk *T.angustifolia* mencapai 5–10 cm. Rata-rata pertambahan jumlah daun untuk kedua tumbuhan ini mencapai 2 hingga 3 helai daun. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi, dimana

kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan. Hasil proses metabolisme tumbuhan berupa sel-sel baru yang menyebabkan terjadinya pertumbuhan pada tumbuhan. Siahaan *et al.*,(2014) menyatakan bahwa tinggi tumbuhan dan banyaknya daun merupakan bagian dari bobot segar tumbuhan karena semakin tinggi tumbuhan dan banyaknya daun dapat meningkatkan nilai berat kering tumbuhan. Berdasarkan hasil pengamatan pada tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* terdapat pertumbuhan tunas baru dengan rata-rata jumlah tunas baru 2–3 batang untuk *S.grossus* dan 3-4 batang untuk *T.angustifolia*.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

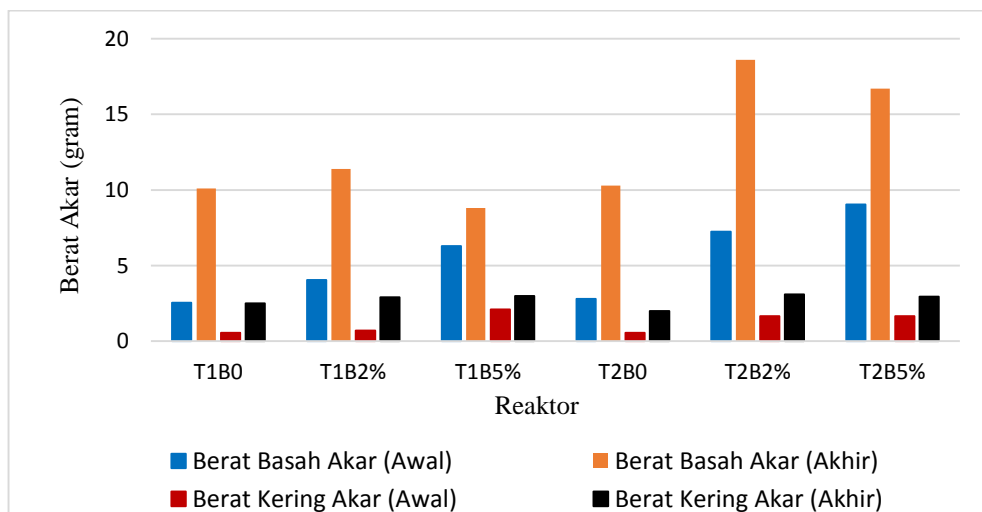
Gambar 4.27 Hasil Pengukuran Banyaknya Daun

4.4.9 Analisis Biomassa Tumbuhan

Analisis biomassa tumbuhan dilakukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan dari limbah yang diketahui berdasarkan berat basah dan berat kering tumbuhan. Pengukuran berat basah dilakukan dengan menimbang berat tumbuhan setelah diambil dan dibersihkan dari reaktor, sedangkan untuk pengukuran berat kering dilakukan dengan mengeringkan tumbuhan yang telah diukur berat basahnya pada suhu 105°C selama 24 jam dan kemudian ditimbang beratnya

(Turner, 1981). Dengan dilakukannya analisis biomassa tumbuhan, dapat diketahui pula pada bagian mana polutan yang terserap disimpan oleh tumbuhan. Hal ini biasanya dilakukan dengan melakukan pengukuran berat basah dan berat kering tumbuhan pada tiap bagian dari tumbuhan tersebut (akar, batang, daun).

Dalam penelitian ini, pengukuran berat basah dan berat kering dilakukan dengan membagi tumbuhan menjadi 3 bagian, yaitu akar, batang dan daun. Untuk mengetahui kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan, dibandingkan dengan hasil berat kering awal pada semua reaktor uji yang terdapat variasi jenis tumbuhan. Hasil analisis biomassa tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.28, Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 berikut:



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

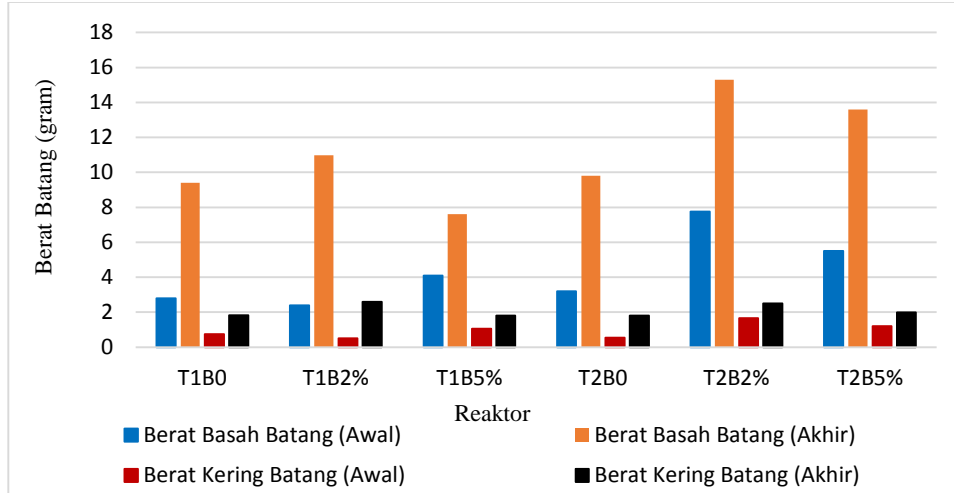
T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.28 Hasil Pengukuran Biomassa Akar Tumbuhan

Berdasarkan Gambar 4.28 hingga Gambar 4.30 didapatkan perbedaan rata-rata berat basah dan berat kering akar, batang dan daun antara tiap reaktor uji. Berat basah awal dan akhir akar, batang dan daun tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustofolia* pada masing-masing reaktor menunjukkan perbedaan. Berat basah akar awal pada masing-masing reaktor sebesar 2-9 gram sedangkan pada akhir sebesar 8 hingga 18,6 gram. Berat basah batang awal mencapai 2-7,75 gram dan 7-15,3 gram berat basah akhir.

Sedangkan berat basah daun awal mencapai 2-4 gram dan 8-19 gram berat basah daun akhir. Hal ini menunjukkan tumbuhan menyerap polutan dan menyimpan pada akar, batang dan daun.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

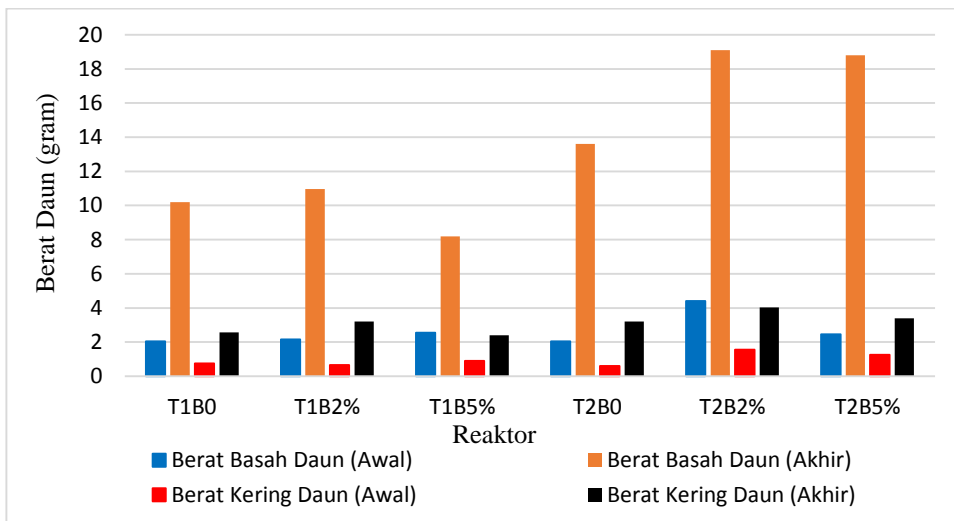
T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.29 Hasil Pengukuran Biomassa Batang Tumbuhan



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri

T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)

T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)

T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

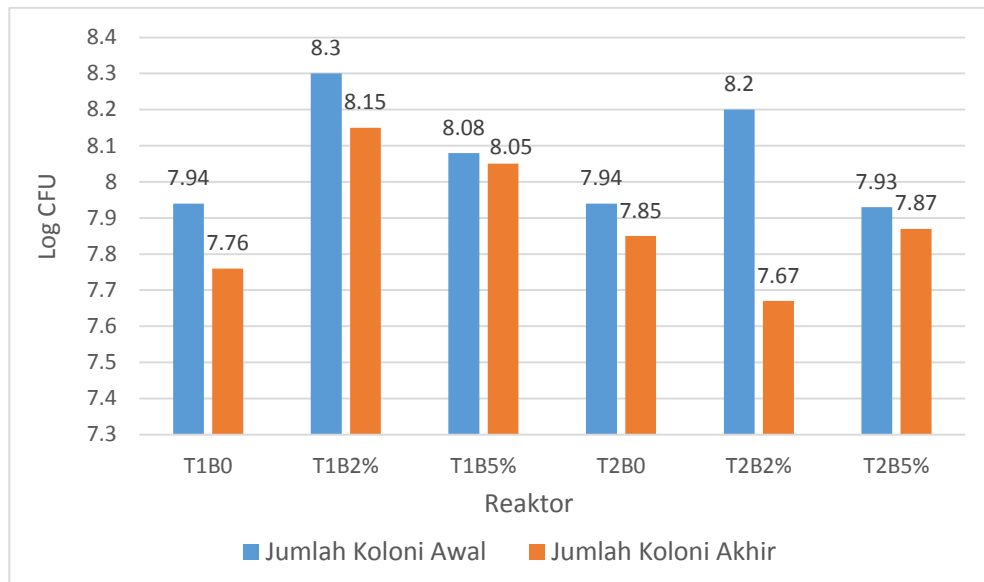
Gambar 4.30 Hasil Pengukuran Biomassa Daun Tumbuhan

Mekanisme terjadinya penyerapan polutan oleh tumbuhan berlangsung dengan masuknya polutan melalui akar tumbuhan yang mengandung banyak mekanisme detoksifikasi, menyediakan luas permukaan untuk adsorpsi serta mengakumulasi air dan nutrisi untuk pertumbuhan tumbuhan yang memungkinkan polutan diserap oleh tumbuhan dan disimpan pada akar, batang maupun daun daripada tumbuhan tersebut (Lakshmi, *et al.*, 2015).

4.4.10 Total Koloni Bakteri

Parameter total koloni bakteri pada akar tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dianalisis pada awal dan akhir penelitian menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*) dengan pengenceran bertingkat. Total koloni bakteri yang dianalisa adalah *V.alginolyticus* sebagai isolat bakteri yang ditambahkan. Perhitungan koloni *V.alginolyticus* dilakukan dengan menggunakan media selektif TCBSA (*Thiosulphate Citrate Bile Salt Sucrose Agar*). Berdasarkan Irma *et al.*, (2017), medium TCBS adalah medium agar selektif untuk pertumbuhan bakteri *Vibrio* sp. Komposisi medium agar TCBS akan menghambat pertumbuhan bakteri selain dari genus *Vibrio* sp. Perhitungan koloni *V.alginolyticus* didasarkan pada ciri fisik bakteri yang tumbuh pada media agar datar TCBS. Thompson *et al.*, (2005), menyatakan bahwa koloni bakteri *Vibrio* sp. akan berwarna kekuningan dan hijau pada media kultur TCBS. Perbedaan warna tersebut didasarkan pada kemampuan bakteri *Vibrio* sp. dalam menfermentasi sukrosa. Sementara Mawengkang (2010) dalam Rahmanto *et al.*, (2014), menyatakan bahwa koloni *V.alginolyticus* akan tumbuh berwarna kekuningan karena kemampuannya dalam menfermentasi sukrosa dan menurunkan pH media TCBS. Warna agar TCBS akan menjadi kuning dikarenakan hasil fermentasi sukrosa menjadi asam oleh bakteri. Total koloni bakteri dilakukan untuk mengetahui jumlah koloni bakteri *V.alginolyticus* yang hidup selama proses fitoremediasi larutan aluminium. Selain itu, analisis total koloni bakteri diperlukan karena diharapkan isolat bakteri yang ditambahkan berfungsi sebagai bioremediasi aluminium. Hasil uji koloni bakteri selama pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.31.

Berdasarkan Gambar 4.31 dapat dilihat nilai log jumlah koloni bakteri *V.alginolyticus* awal cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai log jumlah koloni bakteri akhir. Hal ini dikarenakan bakteri mampu melakukan proses pertumbuhan dengan sumber karbon yang tersedia pada media tanah. Sedangkan bakteri di akhir lebih rendah dibandingkan bakteri awal dikarenakan adanya pencemar yang ditambahkan. Penurunan jumlah koloni menandakan bahwa kecepatan pertumbuhan mulai menurun.



Keterangan:

T₁B₀ = *S.grossus* dan tanpa penambahan bakteri
T₁B_{2%} = *S.grossus* + bakteri 2% (v/v)
T₁B_{5%} = *S.grossus* + bakteri 5% (v/v)

T₂B₀ = *T.angustifolia* dan tanpa penambahan bakteri
T₂B_{2%} = *T.angustifolia* + bakteri 2% (v/v)
T₂B_{5%} = *T.angustifolia* + bakteri 5% (v/v)

Gambar 4.31 Log CFU Bakteri Pada Tiap Reaktor Selama Waktu Uji

Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri cenderung bergerak menuju pada fase stasioner yang diakibatkan oleh keadaan nutrisi yang terbatas dan kondisi lingkungan yang tidak mendukung (Sarhini, 2012). Selain itu terjadi kompetisi antara bakteri dikarenakan jumlah bakteri yang semakin banyak. Hal tersebut mengakibatkan terdapat bakteri yang tidak mampu bertahan hidup dan mati. Hal tersebut sejalan dengan Prayitno (2017) yang menyatakan bahwa sebagian besar bakteri yang ditambahkan tidak dapat bertahan pada kondisi tercemar. Hal tersebut disebabkan oleh persaingan untuk mendapatkan nutrisi maupun kondisi lingkungan yang tidak

mendukung pertumbuhan bakteri. Genhe *et al.*, (2012) menyatakan bahwa penambahan aluminium pada media tanah dapat mengurangi jumlah dan keberagaman mikroba dalam tanah.

4.4.11 Faktor Bioakumulator Tumbuhan

Faktor bioakumulator bertujuan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan pada penelitian ini dalam mengakumulasi kontaminan dengan menghitung nilai dari *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF). Faktor biokonsentrasi (*Bioconcentration Factor*) merupakan rasio dari konsentrasi logam pada bagian tumbuhan dengan konsentrasi logam pada media tumbuh (Li *et al.*, 2012). Rasio ini harus memiliki nilai >1 untuk masuk kedalam kategori tumbuhan *hyperaccumulator*. BCF dan TF dihitung setelah periode penelitian. BCF digunakan untuk mengevaluasi efisiensi tumbuhan dalam fitoremediasi (Subashimi dan Swamy, 2013). Hasil perhitungan faktor biokonsentrasi (BCF) dan translokasi faktor (TF) ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Reaktor	Konsentrasi Aluminium Pada Media (mg/kg)	Konsentrasi Aluminium Pada Tumbuhan (mg/kg)		Nilai BCF	Nilai TF
		Akar	Batang		
T ₁ B ₀	880.1	3120,05	218	3,545	0,068
T ₁ B _{2%}	615	3264,55	190,6	5,308	0,058
T ₁ B _{5%}	526	2107,7	174,5	4,007	0,082
T ₂ B ₀	736	2110	201,5	2,866	0,095
T ₂ B _{2%}	621	1905,25	158,2	3,068	0,083
T ₂ B _{5%}	580.5	1559,45	114,5	2,686	0,073

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.3, dalam penelitian ini tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* dapat dikategorikan sebagai tanaman *hyperaccumulator* karena nilai BCF yang diperoleh oleh semua reaktor lebih dari 1. Tangahu *et al.*, (2013), menyatakan bahwa tumbuhan *S.grossus* berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator. *T.angustifolia* merupakan tumbuhan yang memiliki potensi besar

dalam penyisihan polutan karena kemampuannya dalam menyimpan nutrisi yang terabsorpsi (Grosshans, 2014). Tahira (2006) menyatakan bahwa tumbuhan *hyperaccumulator* memiliki karakter dengan tingginya rasio konsentrasi logam di akar dan bagian tumbuhan lainnya.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *Translocation Factor* (TF) pada Tabel 4.3, menunjukkan bahwa perlakuan dengan variasi jenis tumbuhan memiliki potensi sebagai akumulator Al yang berbeda pula. Nilai TF yang didapatkan tumbuhan *S.grossus* dan *T.angustifolia* pada penelitian ini memiliki nilai kurang dari 1, sehingga dikategorikan sebagai fitostabilisator. Tjahaja *et al.*, (2006), menyatakan bahwa tumbuhan yang memiliki nilai TF relatif <1 berpotensi menjadi tumbuhan fitostabilisator, sedangkan jika nilai TF relatif >1 berpotensi menjadi tumbuhan fitoekstraktor. Fitostabilisasi merupakan mekanisme fitoremediasi dimana akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. Chaney *et al.*, (1997) menyatakan bahwa proses fitostabilisasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk stabilisasi dan reklamasi tanah yang tercemar logam, mengubah logam-logam menjadi bentuk tidak beracun tanpa menghilangkan logam dari dalam tanah tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas, maka kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi maksimum larutan aluminium dimana tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* dapat bertahan hidup adalah 0-500 mg/kg.
2. Efisiensi penyisihan aluminium pada tanah tercemar menggunakan *S.grossus*, *T.angustifolia* dan bioaugmentasi *V.alginolyticus* pada reaktor T₁B₀ sebesar 3,34%, T₁B_{2%} sebesar 28,74%, T₁B_{5%} sebesar 35,09%, T₂B₀ sebesar 10,67%, T₂B_{2%} sebesar 22,47%, T₂B_{5%} sebesar 26,15%, T₀B₀ sebesar 4,91%, T₀B_{2%} sebesar 15,75% dan T₀B_{5%} sebesar 21,05%. Efisiensi penyisihan aluminium terbesar terdapat pada reaktor T₁B_{5%} dengan tumbuhan *S.grossus* dan penambahan bakteri 5% (v/v) sebesar 35,09%.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian ini antara lain:

1. Diperlukan uji lanjutan mengenai pengaruh bakteri *V.alginolyticus* secara individu pada tanah tercemar aluminium. Sehingga dapat diketahui secara jelas peran *V.alginolyticus* pada media tercemar.
2. Dapat dilakukan analisis parameter kandungan logam berat (aluminium) yang bersifat *bioavailable* dengan ekstraksi EDTA. Sehingga dapat diketahui jumlah aluminium yang mampu diserap oleh tumbuhan dan bakteri.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, H., Munifatul, I., dan Sudarno. 2014. **Kemampuan Tumbuhan *Typha angustifolia* Dalam Sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat)**. Bioma, ISSN: 1410-8801. Vol. 16, No. 1, Hal. 90-101.
- Al-Baldawi, I. A. W., Abdullah, S. R. S., Suja, F., Anuar, N., dan Mushrifah, I. 2015. **The Ratio of Plant Numbers to the Total Mass of Contaminant as One Factor in Scaling-up Phytoremediation Process**. Science & Engineering Journal, 73(3), Hal. 111-114.
- Alexander, M. 1994. **Biodegradation and Bioremediation**. United States of America: Academic Press, Inc.
- APHA, AWWA, dan WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition**. Washington D.C. American Public Health Association.
- Badr, N., Fawzy, M., dan Al-Qahtani, K. M. 2012. **Phytoremediation: An Ecological Solution to Heavy-Metal-Polluted Soil and Evaluation of Plant Removal Ability**. World Applied Sciences Journal, Vol. 16, No 19, Hal. 1292-1301.
- Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Jombang. 2016. **Laporan Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup**. Jombang. Hal, 67-95.
- Baes III, C. F., Sharp, R. D., Sjoreen, A. L. dan Shor, R. W. 1984. **A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmentally Released Radionuclides through Agriculture**. Oak Ridge National Laboratory 5786. DE85-000287.
- Chojnacka, K., Chojnacki, A., Gorecka, H., dan Gorecki, H. 2005. **Bioavailability of Heavy Metals from Polluted Soil to Plants**. Science of the Total Environment, Vol. 337, Hal. 175-182.
- Chussetijowati, J., Tjahaya, P. I., dan Sukmabuana, P. 2009. **Fitoremediasi Radionuklida ¹³⁴Cs Dalam Tanah Menggunakan Tanaman Bayam (*Amaranthus sp.*)**. Jurnal Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN. Bandung.
- Damanik, M. O. 2018. **Phytotreatment Limbah Cair Tempe Dengan Menggunakan *Cyperus rotundus L.* dan *Scirpus grossus.*** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Dent, D. 1986. **ASS: A Baseline for Research and Development**. ILRI Publication. Wageningen, the Netherlands.

- EPA. 2001. **A Citizen's Guide to Phytoremediation**. US Environmental Protection Agency.
- Feller, A. K. 2000. **Phytoremediation of Soils and Waters Contaminated With Arsenicals From Former Chemical Warfare Installations**. Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U(ed). *Bioremediation of Cotaminated Soils*. New York: Marcek Dekker Inc. hlm 771-786.
- Fitra, A., Rahayu, Y. S., dan Winarsih. 2013. **The Phytoremediation Capabiliity of Typha latifolia in Reducing the Levels of Cadmium Lapindo Mud Contaminated Soil in Porong Sidoarjo**. *Jurnal LenteraBio*, Vol. 2, No. 3, Hal: 185-189.
- Foy, C. D. 1983. **The Physiology of Plant Adaptation to Metal Stress**. *Iowa State J. Res.* 57. Pp 355-391.
- Genhe, H., Lin, J., Liu, Q., Zhang, J., dan Wu, J. 2012. **The effects of aluminum atress on bacterial community diversity in acidic red soils by polymerase chain reaction (PCR)-amplified restriction fragment length polymorphism**. *African Journal of Microbiology Research* Vol. 6(15): 3707-3715.
- Ghosh, M. dan Singh, S. P. 2005. **A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of Its Products**. *Applied Ecology and Enviromental Research*, Vol. 3, No. 1, Hal. 1-18.
- Hardiani, H. 2008. **Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi**. *Jurnal Riset Industri*, Vol. 2, No. 2, Hal. 64-75.
- Hidayati, N., Fauzia, S., dan Titi, J. 2005. **Potensi Centrocema pubescene, Colopongium mucunoides, dan Micania cordota dalam Membersihkan Logam dan Kontaminan Pada Limbah Penambangan Emas**. *Pesat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor*.
- Indriyati, E. R. 2007. **Potensi Tanaman Makrohidrofit dan Semhidrofit untuk Remediasi limbah Cair Pabrik Tapioka**. *Buana Sains* 7: pp. 157-168.
- Irhamni., Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. 2017. **Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi**. *Researchgate Publication*.
- Irma, A., Dwyana, Z., dan Haedar, N. 2017. **Efektivitas Antimikroba Bakteri Probiotik Dari Usus Itik Pedaging Anas domesticus Terhadap Pertumbuhan Vibrio spp**. *Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- Ismail, N. I., Abdullah, S. R. S., Idris, M., Hasan, H. A., Halmi, M. I. E., AL-Sbani, N. H., Jehawi, O. H., Sanusi, S. N. A., dan Hashim, M. H. 2017. **Accumulation of Fe-Al by Scirpus grossus and Identification of Resistant Rhizobacteria**. *Environmental Engineering Science*, Vol. 34, No. 5.

- Jamulya dan Suratman. 1993. **Pengantar Geografi Tanah** Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jannah, H. 2016. **Pengaruh Paranet Pada Suhu dan Kelembaban Terhadap Pertumbuhan Tanaman Seledri (*Apium graveolens L.*)**. ISSN 2548-5555-Vol.1.
- Jayaweera, M. W., Kasturiarachchi, J. C., Kularatne, R. K. A dan Wijeyekoon, S. L. J. 2007. **Removal of aluminium by constructed wetlands with water hyacinth (*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*) grown under different nutritional conditions**. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 42:2, 185-193.
- Karenlampi, S. K., Schat, H., Vangronsveld, J., Verkleij, J. A. C., van der Lelie, D., Mergeay, M., Tervahauta A. 2000. **Genetic Engineering in the Improvement of Plants for Phytoremediation of Metal Polluted Soils**. Environ. Pollut, 107, Hal. 225-231.
- Kensa, V. M. 2011. **Bioremediation – An Overview**. Journal of Industrial Pollution Control Vol 27 (2): 161-168.
- Khan, A. G., Kuek, C., Khoo, C.S., dan Hayes, W.J. 2000. **Role of Plant, Mycorrhizae and Phytochelator in Heavy Metal Contaminated Land Remediation**. Chemosphere, Vol. 41, Hal. 197-207.
- Krstic, D., Djalovic, I., Nikezic, D., dan Bjelic, D. 2012. **Food Production – Approaches, Challenges and Tasks**. In Tech, Europe.
- Kurniawan, S. B. 2018. **Karakterisasi Bakteri *Brochothrix thermospacta* dan *Vibrio alginolyticus* Serta Potensinya Untuk Mereduksi Aluminium dalam Air Limbah**. Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lakshmi, K. S., Sailaja, V. H., dan Reddy, M. A. 2015. **Phytoremediation - A Promising Technique in Waste Water Treatment**. International Journal of Scientific Research and Management.
- Laksono, D. Iwan., dan Muzayanah. 2012. **Identifikasi Keluhan Masyarakat Akibat Industri Daur Ulang Aluminium di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang**. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Latiff, A. A., Ahmad, T. A. K., Ahmad, S. A., Moh, B. R., dan Yung-Tse Hung. 2012. **Phytoremediation of Metals in Industrial Sludge by *Cyperus kyllingia-Rasiga*, *Asystassia intrusa* and *Scindapsus pictus var argyaeus* Plant Species**. International Journal of Integrated Engineering, Vol. 4, No. 2, p. 1-8.
- Leszczynska, J. 2010. **Phytoextraction of Heavy metal Soils**. Scientific Bulletin of the Technical University of Lodz, Vol. 74, No 1081, Hal. 89-98.

- Li, N. Y., Fu, Q. L., Zhuang, P., Gou, B., dan Li, Z. A. 2012. **Remediation of Chromium-Contaminated Soil due to Tannery Waste Disposal: Potential for Phyto-and Bioremediation.** *Pedologist*, Hal. 175-181.
- Liu, J., Dong, Y., Xu, H., Wang, D., dan Xu, J. 2007. **Accumulation of Cd, Pb and Zn by 19 Wetland Plant Species in Constructed Wetland.** *Journal of Hazardous Materials* 147; pp. 947-953.
- Luturmas, A., dan Pattinasarany, A. Y. 2010. **Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Ikan Kerapu Tikus (*Cromileptes altivelis*) Sebagai Faktor Virulensi Bakteri Patogen.** Seminar Nasional Basic Science II, ISBN: 978-602-97522-0-5.
- Ma, B., Gao, L., Zhang, H., Cui, J., dan Shen, Z. 2012. **Aluminum-Induced Oxidative Stress and Changes in Antioxidant Defences in the Roots of Rice Varieties Differing in Al Tolerance.** *Plant Cell Rep.* 31, pp. 687-696
- Machmud, M. 2001. **Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba.** *Buletin Agro Bio Vol 4 (1):* 24 -32.
- Maharddhika, P. 2018. **Fito-Pengolahan Limbah Greywater Menggunakan *Typha angustifolia* dan *Scirpus grossus* Dengan Mengadaptasi Teknik Pitcher Irrigation System.** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Mahimairaja, S., Shenbagavalli, S., dan Naidu, R. 2011. **Remediation of Chromium-Contaminated Soil due to Tannery Waste Disposal: Potential for Phyto-and Bioremediation.** *Pedologist*, Hal175-181.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. **Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah.** Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS, Hal. 1-9.
- Mangkoedihardjo, S. 2007. **Phytotechnology Integrity in Enviromental Sanitation for Sustainable Development.** *Journal of Applied Science Research*, Vol. 3, No. 10, Hal. 1037-1044.
- Mangkoedihardjo, S., dan Samudro, G. 2010. **Fitoteknologi Terapan.** Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Margesin, R., dan Schinner, F. 2001. **Bioremediation (Natural Attenuation and Biostimulation) of Diesel Oil Contaminated Soil in an Alpine Glacier Skiing Area.** *Appl. Environ. Microbiol*, Vol.67, hal. 3127-313.
- Mrozik, A., dan Pitrowska. S. Z. 2010. **Bioaugmentation as a Strategy for Cleaning Up of Soil Contaminated With Aromatic Compounds.** *Mirobiological Research* 165 (2010): 363-375.
- Nugroho, A. 2006. **Pencemaran Tanah dan Air Tanah.** Penerbit ITB. Bandung.

- Nwoko, C. O. 2010. **Trends in Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutans**. African Journal of Biotechnology, Vol. 9, No. 37, Hal. 6010-6016.
- Octarina, E. 2015. **Uji Penurunan Kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik Menggunakan *Scirpus grossus* dan *Egeria densa***. Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Palar H. 2008. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Bandung: Rineka Cipta.
- Panjaitan, R. 2008. **Pengembangan Pemanfaatan Sabut Pinang Untuk Pembuatan Asam Oksalat**. Berita Litbang Industri Media Publikasi dan Komunikasi Peneliti Industri, Vol. 39, No. 1.
- Pernanda, Y. 2015. **Pemanfaatan Bayam (*Amaranthus sp.*) Sebagai fitoremedator pada tanah tercemar logam aluminium (Al)**. Universitas Andalas: Padang.
- Prajitno, A. 2007. **Uji Sensitivitas Flavonoid Rumput Laut (*Eucheuma cottoni*) Sebagai Bioaktif Alami Terhadap Bakteri *Vibrio harveyi***. Jurnal PROTEIN Vol 15 Nomor 2 Tahun 2007.
- Prayudi, M., Achmad, Z., dan Iskandar, M. 2014. **Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Cr Dengan Tumbuhan Akar Wangi pada Tanah Berkompos**. Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Prijambada, I. D. 2014. **Peran Mikroorganisme Dalam Penyerapan Logam Oleh Tanaman**. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Prunster, M. R.W. 1940. **The control of cumbungi (*Typha spp.*) in irrigation channels**. Journal Science. Industries. Res. 13: 1-6
- Purakayastha, T. J., dan Chhonkar P. K. 2010. **Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils**. Berlin Heidelberg: Springer.
- Purnomo, D. W., Mahat, M., Hendra, H., dan Joko, R. W. 2015. **Jenis-Jenis Tumbuhan Reklamasi Potensial Untuk Fitoremediasi di Kawasan Bekas Tambang Emas**. Jurnal ISSN: 2407-8050, Vol. 1, No. 3, Hal. 496-500.
- Purwanti, I. F., Abdullah, S. R. S., Hamzah, A., Idris, M., Basri, H., Mukhlisin, M., dan Latif, M. T. 2015. **Biodegradation of Diesel by Bacteria Isolated from *Scirpus mucronatus* Rhizosphere in Diesel-Contaminated Sand**. Journal of Advanced Science, Vol.2 (1):140-143.
- Rahmanto, S. P., Sarjito., dan Chilmawati, D. 2014. **Characterization and Postulat Koch Test Genus *Vibrio* Bacteria Derived from Mass Culture Microalga Medium**. Journal of Aquaculture Management and Technology Vol. 3, Hal: 230-237.

- Ratnawati, R., dan Fatmasari, R. D. 2018. **Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Lidah Mertua (*Sansiboiria trifaciata*) dan Jengger Ayam (*Celosia plumosa*)**. AL-ARD: Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 3, No. 2, Hal. 62-69.
- Reilly, G.D., Reilly, C.A., Smith, E.G., dan Austin, C.B. 2011. ***Vibrio alginolyticus* Associated Wound Infection Acquired in British Waters, Guernsey**. Euro Suveill Vol 16 (42).
- Rout, G. R., Samantaray, S., dan Das, P. 2001. **Aluminium Toxicity in Plants: A Review**. Journal Agronomie, INRA-EDP Sciences. pp 3-21.
- Sampanpanish, P., Tippayasak, K., dan Chairat-utai, P. 2010. **Chromium Accumulation by Phytoremediation with Monocot Weed Plant Species and a Hydroponic Sand Culture System**. Journal of Environmental Research and Development, Vol. 4, No. 3, Hal. 654-666.
- Santriyana, D. D., Hayati, R., dan Apriani, I. 2013. **Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan Pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak**. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Sarbini, K. 2012. **Biodegradasi Pyrena Menggunakan *Bacillus substilis* C19**. Tugas Akhir. Universitas Indonesia, Depok.
- Shahandeh, H., dan Hossner, L. R. 2000. **Plant Screening for Chromium Phytoremediation**. Journal of Phytoremediation, Vol. 2, No. 1, Hal. 31-51.
- Setiadi, Y. 2012. **Pembenahan Lahan Pasca Tambang (Soil Amendment Post Mined Land)**. Post Mining Restoration Technical Note.
- Setiadi, Y., dan Anira, F. C. 2015. **Deteksi Dini Keracunan Aluminium Tanaman *Bridelia monoica* Merr. Pada Tanah Pasca Tambang Batu Bara PT. Jorong Barutama Greston Kalimantan Selatan**. Jurnal Silvikultur Tropika, ISSN: 2086-8227, Vol. 06, No. 2, Hal. 101-106.
- Siahaan, C. B., Sri, R. U., dan Eko, H. 2014. **Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Menggunakan *Lindernia crustacean*, *Digitaria radiocosaa* dan *Cyperus rotundus* L. serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung**. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, Vol. 1, No. 2 Hal. 35-51.
- Simanjuntak, D. Y. 2018. **Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Subhashini, V., dan Swamy, A. V. V. S. 2013. **Phytoremediation of Cadmium and Chromium from Contaminated Soil Using *Physalis minima* Linn**. AIJRFANS, Vol. 3, No. 1, Hal. 119-122.

- Surdia, T. E. 2005. **Teknik Pengecoran Logam**. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Supriyanto. 2009. **Analisis Hasil Pengecoran Aluminium Dengan Variasi Media Pendingin**. Janateknika, Vol. 11, No. 2, ISSN: 1441-1152.
- Tahira, S. A. 2006. **Phytoremediation of Tannery Effluents and Associated Contaminated Soil of Kasur District**. Disertasi Ph.D. University of The Punjab, Lahore.
- Tang, J., Qing, X. N., dan Wang, S. R. 2010. **Bioremediation of Petroleum Polluted Soil by Combination of Ryegrass with Effective Microorganisms**. Journal of Environmental Technology and Engineering, Vol. 3, No. 2, Hal. 80-86.
- Tangahu, B. V., Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Mukhlisin, M. 2010. **Range Finding Test of Lead (Pb) on Scirpus grossus and Measurement of Plant WeDry Weight as Preliminary Study of Pythotoxicity**. Regional Engineering Postgraduate Confrence (EPC).
- Tapparo, A., dan Parazzolo, M. 1977. **N-Octanol/Water Partition Coefficients of the Acetylacetonate and Maltolate Complexes of Al (III), Cr (III) and Fe (III) and of Aluminium Lactate**. Inorg.Chemistry Vol 3 pp. 561-563.
- Thompson, I. P., Van Der Gast, C. J., Ciric, L., dan Singer, A. C. 2005. **Bioaugmentation for Bioremediation: The Challenge of Strain Selection**. Environmental Microbiology, Vol. 7 (2005): 909-915.
- Titah, H. S., Tangahu, B. V., dan Mangkoedihardjo, S. 2016. **Praktik Remediasi Lingkungan**. ITS Press. Surabaya.
- Tjahaja. 2006. **Teknik Fitoremediasi Untuk Dekontaminasi Lingkungan Tercemar Unsur Radioaktif**. Pusat Teknologi Nuklir dan Radiometri, BATAN: Bandung.
- Turner, N. C. 1981. **Techniques and Experimental Approaches for the Measurement of Plant Water Status**.
- Tsakiridis, P. E. 2012. **Aluminium Salt Slag Characterization and Utilization**. A Review Journal of Hazardous Materials, Vol. 217-218. Hal, 1-10.
- Vamerali, T., Bandiera, M., dan Mosca, G. 2010. **Field Crops for Phytoremediation of Metal-Contaminated Land**. A Review, Environ Chem Lett, Vol. 8, Hal. 1-17.
- Wardhana, W. A. 2010. **Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)**. Yogyakarta. ANDI.
- Watanabe, T., Osaki, M., Tadano T. 2001. **Al Uptake Kinetics in Root of *Melastoma malabathricum* L. an Al Accumulator Plant**. Plant and soil, 231: 283-291.

- Yadav, S., dan Chandra, R. 2011. **Heavy Metals Accumulation and Ecophysiological Effect on *Typha angustifolia* L. and *Cyperus esculentus* L. Growing in Distillery and Tannery Effluent Polluted Natural Wetland Site, Unnao, India.** Environ. Earth Sci. 62: pp. 1235 -1243.
- Yeo, R. R., 1964. **Life history of common cattail.** Weeds 12:284 Cristes, R. W., dan Tchobanoglaus, 1998. **Small and Decentralized Wastewater Management System.** McGraw-Hill, New York.
- You, W., dan Li, T. 2004. **Chelate Assisted Chromium Uptake by Indian Mustard in Tannery Sludge Contaminated Soil.** Hal. 1-5.
- Zhu, Y. G., Christie, P., dan Laidlaw, A. S. 2001. **Uptake of Zn by Arbuscular Mycorrhizal White Clover Zn-Contaminated Soil.** Chemosphere 42: 193-199.

LAMPIRAN 1 PROSEDUR PEMBUATAN LARUTAN STOK ALUMINIUM

Prosedur pembuatan larutan stok aluminium dilakukan berdasarkan APHA, AWWA, dan WPCF (2012). Tahapan proses pembuatan larutan stok aluminium antara lain:

1. Alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat larutan stok aluminium disiapkan terlebih dahulu, termasuk padatan Aluminium klorida (AlCl_3).
2. Pada penelitian ini dibuat larutan stok aluminium dengan konsentrasi sebesar 50.000 mg/L.
3. Padatan AlCl_3 ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 247,2 gram di dalam *beaker glass* 100 mL. Kebutuhan AlCl_3 didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut.

$$50.000 \text{ mg/L Al}^{+3} = \frac{Mr \text{ AlCl}_3}{Ar \text{ Al}+3} \times \frac{\text{massa padatan AlCl}_3}{\text{Volume Larutan}}$$

$$50.000 \text{ mg/L Al}^{3+} = \frac{133,5 \text{ g/mol}}{27 \text{ g/mol}} \times \frac{\text{massa padatan AlCl}_3}{1 \text{ L}}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Padatan AlCl}_3 &= \frac{50.000 \text{ mg/l} \times 133,5 \text{ g/mol}}{27 \text{ g/mol}} \\ &= 247222,2 \text{ mg} \\ &= 247,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

4. Ditambahkan aquadest ke dalam labu pengencer hingga volume larutan mencapai 1 L yang bertujuan untuk mengencerkan larutan.
5. Tutup labu pengencer dengan penutupnya dan kemudian kocok larutan dengan posisi ibu jari pada penutup dan keempat jari lainnya memegang badan labu pengencer. Pengocokan dilakukan dengan membolak-balikkan labu agar tercipta larutan yang homogen.
6. Larutan stok aluminium di dalam labu pengencer kemudian disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1,1 atm.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2

PROSEDUR PEREMAJAAN ISOLAT BAKTERI

Menurut Machmud (2001), prosedur peremajaan isolat bakteri antara lain:

1. Alat dan bahan yang digunakan dalam proses peremajaan bakteri disiapkan terlebih dahulu, termasuk media induk bakteri.
2. Jarum ose dipanaskan pada nyala api Bunsen hingga membara. Tujuannya adalah untuk mensterilkan jarum ose agar tidak terjadi kontaminasi.
3. Tutup tabung reaksi yang berisi bakteri induk dibuka dan dilewatkan pada nyala api Bunsen 2 – 3 kali.
4. Jarum ose digoreskan pada permukaan media induk untuk mengambil bakteri.
5. Mulut tabung reaksi yang berisi bakteri induk dilewatkan kembali pada nyala api sebanyak 2- 3 kali dan kemudian ditutup kembali.
6. Penutup tabung reaksi media agar miring NA dibuka dan dilewatkan pada nyala api sebanyak 2- 3 kali.
7. Jarum ose yang mengandung bakteri induk digoreskan pada media agar miring NA secara zig-zag dan perlahan mulai dari dasar tabung reaksi.
8. Mulut tabung reaksi kembali dilewatkan pada nyala api sebanyak 2 -3 kali, kemudian ditutup dengan kapas lemak.
9. Jarum ose yang telah dipakai kemudian dipanaskan sampai membara pada nyala api Bunsen. Tujuannya adalah untuk membunuh bakteri yang mungkin tertinggal pada jarum.
10. Tabung reaksi agar miring yang telah berisi biakan bakteri diinkubasi dalam inkubator selama 24 jam dengan temperatur 37°C.
11. Setelah 24 jam bakteri yang telah diinkubasi dapat digunakan untuk penelitian.
12. Prosedur peremajaan isolat bakteri harus dilakukan dalam kondisi aseptik, yakni berada dekat dengan nyala api Bunsen (maksimum berjarak 20 cm dari nyala api).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 3 PERSIAPAN BAKTERI UNTUK PENELITIAN UTAMA

1. Penyiapan bakteri untuk ditambahkan pada penelitian utama yaitu:
 - a. Bakteri berumur 24 jam pada media agar miring NA diambil sebanyak 5 ose.
 - b. Bakteri pada ose dipindahkan ke dalam labu Erlenmeyer volume 1000 mL yang berisi media NB sebanyak 500 mL (Deepali, 2011).
 - c. Jika bakteri masih terlihat menggumpal, dilakukan pengadukan secara manual dengan cara menggoyangkan labu erlenmeyer.
 - d. Labu erlenmeyer yang berisi bakteri dishaker selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm.
 - e. Setelah dishaker 24 jam, media NB berisi bakteri diambil sebanyak 50 mL dan dimasukkan kedalam tabung sentrifugasi.
 - f. Dilakukan proses sentrifugasi selama 10 menit dengan putaran sebanyak 4000 rpm (Purwanti *et al.*, 2015).
 - g. Supernatan yang tidak mengandung bakteri dibuang dari tabung sentrifugasi.
 - h. Pelet bakteri yang ada di dasar atau menempel pada tabung sentrifugasi dicuci menggunakan larutan fisiologis 8,5% (NaCl) steril.
 - i. Hasil cucian yang berupa endapan bakteri dipindahkan dalam labu erlenmeyer steril dan ditambahkan larutan fisiologis sampai volume yang dibutuhkan.
 - j. Nilai absorbansi bakteri diukur dengan spektrofotometer panjang gelombang 600 nm.
 - k. Dilakukan trial and error absorbansi dengan menambahkan larutan fisiologis pada bakteri hingga didapatkan nilai absorbansi sebesar 0,5A (Purwanti *et al.*, 2015).
 - l. Perlakuan poin a dan b dilakukan secara *aseptic* agar tidak terjadi kontaminasi.
2. Larutan aluminium dengan konsentrasi yang telah didapatkan pada *Range Finding Test* (RFT) dimasukkan ke dalam reaktor uji sesuai dengan *bulk density*.
3. Bakteri yang telah berumur 24 jam di media NB dan memiliki nilai OD lebih dari 0,5A ditambahkan ke dalam reaktor uji.
4. Penelitian utama dilakukan selama 28 hari.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 4

PROSEDUR UJI KOLONI BAKTERI

Uji koloni bakteri pada penelitian ini menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*). Tahapan proses uji koloni bakteri antara lain:

1. Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk uji koloni bakteri disiapkan terlebih dahulu.
2. Tanah tercemar pada media uji diambil sebanyak 10 g menggunakan spatula.
3. Sampel tanah tercemar dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL.
4. Tambahkan larutan fisiologis ke dalam labu Erlenmeyer hingga volume mencapai 100 mL.
5. Labu Erlenmeyer yang telah berisi tanah tercemar dan larutan fisiologis di *shaker* selama 1 jam dengan kecepatan 150 rpm.
6. Kemudian diambil sebanyak 1 mL dari labu Erlenmeyer yang berisi tanah tercemar dan larutan fisiologis menggunakan pipet ukur steril.
7. 1 ml larutan fisiologis yang berisi bakteri kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah berisi larutan fisiologis 9 mL.
8. Dilakukan pengocokan agar tercipta larutan yang homogen.
9. Dilakukan pengenceran berulang pada larutan fisiologis yang berisi bakteri seperti pada tahap 6 – 8 sebanyak 5 – 7 kali.
10. Bagian tepi cawan petri dilewatkan pada nyala api Bunsen sebanyak 2-3 kali untuk mensterilkan cawan.
11. Larutan fisiologis yang berisi bakteri pada 3 pengenceran terakhir dimasukkan ke dalam cawan petri sebanyak 0,1 mL menggunakan pipet ukur steril.
12. Agar cair NA dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah berisi bakteri dan ditunggu hingga memadat.
13. Setelah memadat, bagian tepi cawan petri dilewatkan pada nyala api bunsen sebanyak 2 hingga 3 kali untuk mensterilkan cawan.
14. Cawan petri berisi bakteri diinkubasi dalam inkubator dengan suhu 37°C selama 24 jam.
15. Setelah 24 jam, dilakukan pengamatan total koloni bakteri pada cawan petri.
16. Prosedur diatas harus dilakukan dalam kondisi aseptik, yani berada dekat dengan nyala api (maksimum berjarak 20 cm dari nyala api) untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 5

METODE EKSTRAKSI TANAH DENGAN AQUA REGIA

Prosedur ekstraksi sampel tanah menggunakan larutan aqua regia terdiri atas:

1. Alat dan bahan yang dibutuhkan antara lain larutan HCl 37% atau 11,96 M, HNO₃ 70% atau 16,52 M, sampel tanah, beaker glass, kompor listrik, kertas saring, dan labu pengencer 50 mL.
2. Larutan aqua regia dibuat sesuai dengan kebutuhan dimana terdapat perbandingan sebesar 3:1 dalam v/v. Dalam 1000 mL larutan aqua regia terdiri atas 750 mL HCl dan 250 mL HNO₃.
3. Diambil sampel tanah tercemar sebanyak 1 gram didalam beaker glass.
4. Ditambahkan larutan aqua regia sebanyak 28 mL ke dalam beaker glass dan didiamkan selama 24 jam.
5. Dipanaskan pada kompor listrik hingga campuran tanah dan larutan aqua regia agak kering (tersisa sekitar 5 mL)
6. Ditambahkan aquades ke dalam beaker glass hingga mencapai volume 20 mL.
7. Dilakukan penyaringan sampel menggunakan kertas saring dan larutan hasil penyaringan diencerkan hingga mencapai volume 50 mL pada labu pengencer.
8. Larutan hasil ekstraksi dengan aqua regia dapat dibaca konsentrasi aluminium pada alat AAS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 6

EKSTRAKSI PENCEMAR INORGANIK DALAM TUMBUHAN

Berdasarkan penuntun praktikum Remediasi Lingkungan, (2016) metode ekstraksi pencemar inorganik dalam tumbuhan dapat dilakukan dengan metode destruksi kering. Proses destruksi kering merupakan proses pengabuan. Tahapan proses destruksi kering antara lain:

- a. Tumbuhan diuapkan dalam oven dengan suhu 105-110°C selama 45 menit.
- b. Timbang sebanyak 5 gram bagian tumbuhan (akar dan batang) yang sudah kering.
- c. Bagian tumbuhan (akar dan batang) diabukan dalam furnace selama 8 jam pada suhu 450°C, sampai sampel mengering.
- d. Sampel yang telah menjadi abu ditambahkan HCL 10 M sebanyak 10 mL.
- e. Dipanaskan di atas hot plate sampai abu larut.
- f. Sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan menambahkan HNO₃ 0.1 M sampai garis batas.
- g. Melakukan Filtrasi
- h. Supernatan hasil filtrasi diletakkan dalam botol sampel dan disimpan dalam lemari pendingin sebelum dianalisis menggunakan AAS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 7
HASIL PENGAMATAN PARAMETER

1. Tahap Propagasi

Pertumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* pada saat tahap propagasi.

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm) <i>Scirpus grossus</i>	Banyaknya Daun
2	4	2
4	7	2
6	12	4
8	21	5
10	30,5	6
12	46	6
14	52	7
16	60	8
18	66	8
20	72	9
22	79	10
24	85.3	11
26	91	11
28	97,2	11
30	103.5	11
32	121.4	11

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm) <i>Typha angustifolia</i>	Banyaknya Daun
2	2	2
4	10	2
6	16	5
8	32	5
10	38	6
12	44	6
14	53	7
16	59.2	7
18	64.7	8
20	75	9
22	86	9
24	98.6	11
26	120	12
28	134	11
30	157	11
32	173,5	11

2. Tahap Range Finding Test

- Tinggi Tumbuhan *Scirpus grossus*

Hari	Kontrol	50 mg/kg	500mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	38.05	41.4	43.925	42.475	36.525
1	38.7	41.95	44.675	43.125	37.05
2	39.35	44.075	45.675	44.45	37.975
3	40.1	46.325	46.275	44.1	38.8
4	40.9	48.35	47.3	43.4	39.625
5	41.65	50.625	48	44.325	40.625
6	42.85	53.325	49	44.4	41.425
7	43.45	54.825	49.2	43.975	43.75
8	43.45	54.825	49.2	43.95	40.9
9	43.45	58.05	50.775	41.2	42.025
10	43.825	59.1	51.75	42.1	43.025
11	44.85	60.675	52.1	43.1	43.025
12	46.075	61.075	53.05	43.25	43.025
13	46.075	62.15	54.4	43.225	43.025
14	46.075	62.725	55.6	43.225	43.025

- Tinggi Tumbuhan *Typha angustifolia*

Hari	Kontrol	50 mg/kg	500mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	53.6	55.625	56.65	59.5	59.5
1	54.375	56.2	57.175	60.325	60.575
2	54.7	57.425	57.425	60.8	60.925
3	54.55	57.625	57.325	61.375	61.075
4	55.2	57.125	57.45	61.675	61.3
5	56.25	58.225	58.1	62.025	61.875
6	56.65	59.85	58.725	62.65	62.3
7	55.525	61.05	59.075	63.425	62.25
8	56.2	63.96667	59.8	64.025	62
9	57	63.025	60.675	65.85	62
10	58.075	64.475	61.475	66.75	61.65
11	59.15	65.9	62.8	67.7	61.85
12	59.925	66.4	63.6	68.6	61.75
13	60.875	67.675	64.7	69.5	60.85
14	61.95	68.625	64.975	70.1	60.6

- Analisis pH pada *Scirpus grossus*

Hari	Kontrol	50 mg/kg	500 mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	7.5	7.5	7	5	6.5
1	7.5	7.5	5	5	6.5
2	6	5.5	5	4.5	5
3	7	5	5	5	4.5
4	7	5.5	5	5	5
5	7	5	5	4.5	5
6	6.5	6.5	5.5	5	5
7	6	5	5	5	5
8	6	5	5	5	5
9	5.5	5	5	5	4.5
10	5	5	5	5	5
11	6	5	5	5	5
12	6.5	5	5	5	5
13	6.5	5	5	5	5
14	6	5	4.5	5	5

- Analisis pH pada *Typha angustifolia*

Hari	Kontrol	50mg/kg	500mg/kg	5000mg/kg	10.000mg/kg
0	5	6.5	7.5	5	5
1	5	6.5	7.5	5	5
2	5.5	5.5	5.5	5	5
3	6	6	6	4.5	5
4	6	6	6	4.5	5
5	5.5	6	5	5	5
6	4.5	5	5	5	5
7	6.5	5	5	5	4.5
8	5.5	5	5	4.5	4.5
9	5	5	5	5	5
10	5.5	5	5	5	5
11	6	5	5	5	6
12	6.5	5	5	5	5
13	6	5.5	5	4.5	5
14	6.5	5	5.5	4.5	4.5

- Analisis Suhu Pada *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*

Hari	Kontrol	50 mg/kg	500 mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	5	5	5	5	5
1	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5
7	5	5	5	5	5
8	5	5	5	5	5
9	5	5	5	5	5
10	5	5	5	5	5
11	5	5	5	5	5
12	5	5	5	5	5
13	5	5	5	5	5
14	5	5	5	5	5

- Analisis Suhu Pada *Scirpus grossus*

Hari	Kontrol	50 mg/kg	500 mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	33	33	33	33	33
1	34	34	34	34	34
2	33	33	34	34	32
3	31	31	31	32	30
4	32	32	31	31	30
5	33	32	32	33	32
6	34	34	34	34	33
7	30	31	30	30	31
8	30	31	32	31	30
9	30	32	31	30	31
10	30	31	32	30	31
11	31	31	31	30	30
12	31	32	31	32	31
13	31	32	30	31	30
14	32	32	31	31	32

- Analisis Suhu Pada *Typha angustifolia*

Hari	Kontrol	50mg/kg	500mg/kg	5000mg/kg	10000mg/kg
0	33	33	33	33	33
1	34	34	33	34	35
2	34	34	32	32	34
3	32	31	31	31	30
4	29	28	30	30	29
5	34	32	32	31	31
6	33	33	33	33	33
7	30	31	30	31	30
8	30	31	31	30	31
9	30	30	30	30	31
10	31	32	31	30	32
11	31	31	31	30	30
12	31	32	31	32	32
13	31	32	31	31	32
14	30	31	32	30	30

3. Tahap Penelitian Utama

- Rata-Rata Tinggi Tumbuhan

Reaktor	Hari 0	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₁ B ₀	47.6	64.6	65.5	68.4	83.1
T ₁ B _{2%}	44.3	62.1	67.3	74.1	78.8
T ₁ B _{5%}	35.2	49	53.1	61	69.7
T ₂ B ₀	43	61.2	70.5	75.2	81.3
T ₂ B _{2%}	42.9	64.8	73.8	84.2	89.1
T ₂ B _{5%}	44.4	59.6	67.8	75.8	88.7

- Rata-Rata Jumlah Daun

Reaktor	Hari 0	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₁ B ₀	5	5.8	8	9.4	10.9
T ₁ B _{2%}	6	7	8	9	10.7
T ₁ B _{5%}	4.9	5.6	6.6	8.1	8.5
T ₂ B ₀	5.5	6.2	7.2	8.9	10.6
T ₂ B _{2%}	6.5	7	8.9	10.7	11.3
T ₂ B _{5%}	5.4	6.7	8	9.5	10.6

- Analisis pH Pada Penelitian Utama

Reaktor	Hari 0	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₁ B ₀ (1)	6	6.5	6.5	6	7
T ₁ B ₀ (2)	6	6	6	6	7
T ₁ B _{2%} (1)	5.5	7	6.5	5.5	7
T ₁ B _{2%} (2)	5	6	5.5	5	7
T ₁ B _{5%} (1)	6	6.5	6	6	6
T ₁ B _{5%} (2)	6	6.5	6	6	7
Reaktor	Hari 0	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₂ B ₀ (1)	7	5	5.5	7	6
T ₂ B ₀ (2)	7	6.5	6	7	5
T ₂ B _{2%} (1)	6	8	7	6	7.5
T ₂ B _{2%} (2)	7	7	6.5	7	7.5
T ₂ B _{5%} (1)	5.5	6	6.5	5.5	7.5
T ₂ B _{5%} (2)	5	7	6	5	6
Reaktor	Hari 0	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₀ B ₀ (1)	6	6	6	6	5
T ₀ B ₀ (2)	5.5	5	6	5.5	7
T ₀ B _{2%} (1)	6	6	5.5	6	6.5
T ₀ B _{2%} (2)	5.5	7.5	6	5.5	6.5
T ₀ B _{5%} (1)	6	5	5	6	7
T ₀ B _{5%} (2)	6	5	5	6	7

- Analisis Suhu

Hari	T ₁ B ₀	T ₁ B _{2%}	T ₁ B _{5%}	T ₂ B ₀	T ₂ B _{2%}	T ₂ B _{5%}	T ₀ B ₀	T ₀ B _{2%}	T ₀ B _{5%}
0	31	30.5	30.5	30.5	32	32	31.5	30.5	31
7	34	32.5	32	32.5	35.5	33	33	34	32.5
14	31	30.5	30.5	30.5	32	32	31.5	30.5	31
21	32.5	32	31	33	32.5	31.5	31.5	31.5	31.5
28	36.5	37	35.5	34.5	35.5	34	36	37.5	31.5

- Analisis CO₂

Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
T ₁ B ₀	627	401	425.95	458.6	445.2
T ₁ B _{2%}	448.4	446.8	408.1	453.2	424
T ₁ B _{5%}	463.7	403.7	444.7	438	424.5
T ₂ B ₀	444.1	430.9	460.2	456.8	456.1
T ₂ B _{2%}	483.8	409.9	405.4	463.4	430
T ₂ B _{5%}	440.8	446.8	437.3	466.4	425.8
T ₀ B ₀	440.8	463.1	456.7	479.4	454.5
T ₀ B _{2%}	493.4	422	419.4	503.3	427.2
T ₀ B _{5%}	490.9	452.4	420.3	496.8	475.9

- Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

Reaktor	Berat Basah Akar (Awal)	Berat Basah Akar (Akhir)	Berat Kering Akar (Awal)	Berat Kering Akar (Akhir)
T ₁ B ₀	2.55	10.1	0.55	2.51
T ₁ B _{2%}	4.05	11.4	0.7	2.91
T ₁ B _{5%}	6.3	8.8	2.1	3
T ₂ B ₀	2.8	10.3	0.55	2
T ₂ B _{2%}	7.25	18.6	1.65	3.1
T ₂ B _{5%}	9.05	16.7	1.65	2.95

Reaktor	Berat Basah Batang (Awal)	Berat Basah Batang (Akhir)	Berat Kering Batang (Awal)	Berat Kering Batang (Akhir)
T ₁ B ₀	2.8	9.4	0.75	1.82
T ₁ B _{2%}	2.4	10.97	0.5	2.6
T ₁ B _{5%}	4.1	7.6	1.05	1.8
T ₂ B ₀	3.2	9.8	0.55	1.8
T ₂ B _{2%}	7.75	15.3	1.65	2.5
T ₂ B _{5%}	5.5	13.6	1.2	1.99

Reaktor	Berat Basah Daun (Awal)	Berat Basah Daun (Akhir)	Berat Kering Daun (Awal)	Berat Kering Daun (Akhir)
T ₁ B ₀	2.05	10.2	0.75	2.56
T ₁ B _{2%}	2.15	10.96	0.65	3.2
T ₁ B _{5%}	2.55	8.2	0.9	2.4
T ₂ B ₀	2.05	13.6	0.6	3.2
T ₂ B _{2%}	4.4	19.1	1.55	4.03
T ₂ B _{5%}	2.45	18.8	1.25	3.4

- Total Koloni Bakteri Pada Akar Tumbuhan

Reaktor	Jumlah Koloni Awal	Jumlah Koloni Akhir
T ₁ B ₀ (1)	8.2	8.3
T ₁ B ₀ (2)	8.4	8
T ₁ B _{2%} (1)	7.9	7.77
T ₁ B _{2%} (2)	7.98	7.74
T ₁ B _{5%} (1)	7.9	7.78
T ₁ B _{5%} (2)	7.98	7.92
T ₂ B ₀ (1)	8.2	8.25
T ₂ B ₀ (2)	7.96	7.85
T ₂ B _{2%} (1)	8.3	7.78
T ₂ B _{2%} (2)	8.1	7.55
T ₂ B _{5%} (1)	7.86	7.83
T ₂ B _{5%} (2)	7.99	7.91

LAMPIRAN 8

Kandungan Aluminium Pada Tanah dan Tumbuhan

1. Efisiensi Penyisihan Aluminium Pada Tanah

Reaktor	Efisiensi (%)
T ₁ B ₀	3.34
T ₁ B _{2%}	28.74
T ₁ B _{5%}	35.09
T ₂ B ₀	10.67
T ₂ B _{2%}	22.47
T ₂ B _{5%}	26.15
T ₀ B ₀	4.91
T ₀ B _{2%}	15.75
T ₀ B _{5%}	21.05

Perhitungannya:

$$RE (\%) = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

- T₁B₀ = $\frac{91,05 \frac{mg}{kg} - 88,01 \frac{mg}{kg}}{91,05 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 3,34\%$
- T₁B_{2%} = $\frac{86,30 \frac{mg}{kg} - 61,50 \frac{mg}{kg}}{86,30 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 28,74\%$
- T₁B_{5%} = $\frac{81,04 \frac{mg}{kg} - 61,50 \frac{mg}{kg}}{81,04 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 35,09\%$
- T₂B₀ = $\frac{82,40 \frac{mg}{kg} - 73,60 \frac{mg}{kg}}{82,40 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 10,67\%$
- T₂B_{2%} = $\frac{80,10 \frac{mg}{kg} - 62,10 \frac{mg}{kg}}{80,10 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 22,47\%$
- T₂B_{5%} = $\frac{78,60 \frac{mg}{kg} - 58,05 \frac{mg}{kg}}{78,60 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 26,15\%$
- T₀B₀ = $\frac{96,80 \frac{mg}{kg} - 92,05 \frac{mg}{kg}}{96,80 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 4,91\%$
- T₀B_{2%} = $\frac{85,04 \frac{mg}{kg} - 71,65 \frac{mg}{kg}}{85,04 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 15,75\%$
- T₀B_{5%} = $\frac{82,08 \frac{mg}{kg} - 64,80 \frac{mg}{kg}}{82,08 \frac{mg}{kg}} \times 100\% = 21,05\%$

2. Kandungan Aluminium Pada Tanah

Reaktor	Tanah Awal	Tanah Akhir
T ₁ B ₀	910.5	880.1
T ₁ B _{2%}	863	615
T ₁ B _{5%}	810.4	526
T ₂ B ₀	824	736
T ₂ B _{2%}	801	621
T ₂ B _{5%}	786	580.5
T ₀ B ₀	968	920.5
T ₀ B _{2%}	850.4	715.5
T ₀ B _{5%}	820.8	648

3. Kandungan Aluminium Pada Akar

Reaktor	Akar Awal	Akar Akhir
T ₁ B ₀	867.9	3120.05
T ₁ B _{2%}	1375.2	3264.55
T ₁ B _{5%}	557.35	2107.7
T ₂ B ₀	476.6	2110
T ₂ B _{2%}	716.6	1905.25
T ₂ B _{5%}	1520.8	1559.45

4. Kandungan Aluminium Pada Batang

Reaktor	Batang Awal	Batang Akhir
T ₁ B ₀	218	170.8
T ₁ B _{2%}	190.6	164
T ₁ B _{5%}	174.5	153.2
T ₂ B ₀	201.5	168.6
T ₂ B _{2%}	158.2	127.4
T ₂ B _{5%}	114.5	103.8

LAMPIRAN 9
Uji Analisis Statistik (ANOVA)

12/27/2018 2:01:41 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

General Linear Model: Efisiensi Pe versus Jenis Tumbuh, Penambahan B

Factor	Type	Levels	Values
Jenis Tumbuhan	fixed	3	Scirpus grossus, Tanpa Tumbuhan, Typha angustifolia
Penambahan Bakteri	fixed	3	0.00, 0.02, 0.05

Analysis of Variance for Efisiensi Penyisihan Al (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Jenis Tumbuhan	2	862.20	862.20	431.10	64.86	0.000
Penambahan Bakteri	2	506.69	506.69	253.34	38.11	0.000
Error	13	86.41	86.41	6.65		
Total	17	1455.30				

S = 2.57815 R-Sq = 94.06% R-Sq(adj) = 92.24%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	21.4256	0.6077	35.26	0.000
Jenis Tumbuh				
Scirpus grossus	9.1844	0.8594	10.69	0.000
Tanpa Tumbuhan	-7.5222	0.8594	-8.75	0.000
Penambahan B				
0.00	-6.8989	0.8594	-8.03	0.000
0.02	0.8944	0.8594	1.04	0.317

Expected Mean Squares, using Adjusted SS

Source	Expected Mean Square for Each Term
1 Jenis Tumbuhan	(3) + Q[1]
2 Penambahan Bakteri	(3) + Q[2]
3 Error	(3)

Error Terms for Tests, using Adjusted SS

Source	Error DF	Error MS	Synthesis of Error MS
1 Jenis Tumbuhan	13.00	6.65	(3)
2 Penambahan Bakteri	13.00	6.65	(3)

Variance Components, using Adjusted SS

	Estimated
Source	Value
Error	6.647

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Jenis Tumbuhan	N	Mean	Grouping
Scirpus grossus	6	30.6	A
Typha angustifolia	6	19.8	B
Tanpa Tumbuhan	6	13.9	C

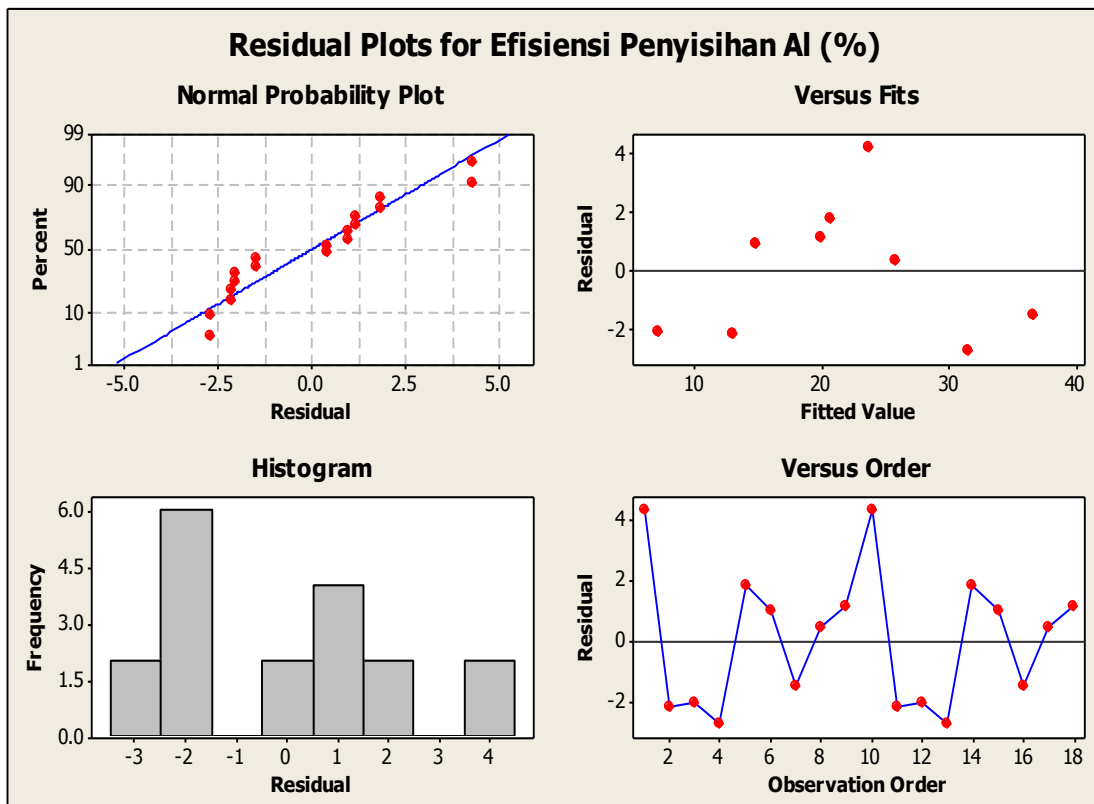
Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Penambahan	N	Mean	Grouping
Bakteri			
0.05	6	27.4	A
0.02	6	22.3	B
0.00	6	14.5	C











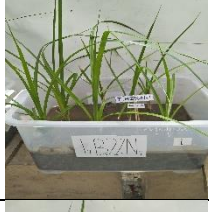

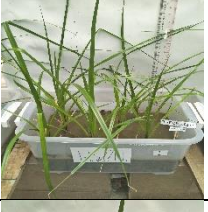


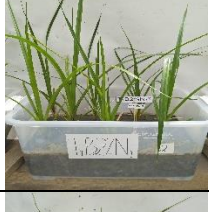
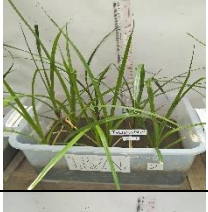
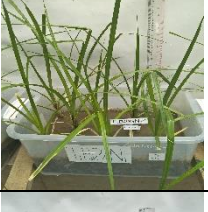



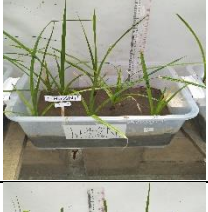

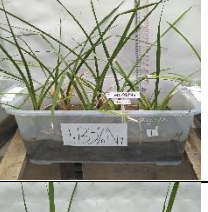
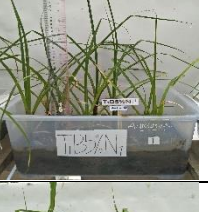
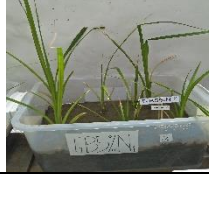

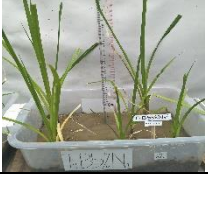


Means that do not share a letter are significantly different.

Residual Plots for Efisiensi Penyisihan AI (%)

























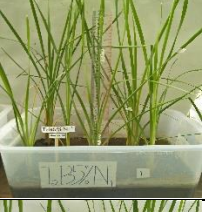







LAMPIRAN 10
DOKUMENTASI PENELITIAN




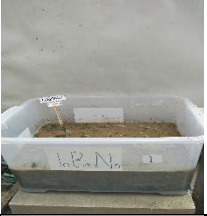


























- Dokumentasi Hasil Pengamatan *Scirpus grossus*

Reaktor Uji	Hari 1	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₁ B ₀					
					
T ₁ B _{2%}					
					
T ₁ B _{5%}					
					

▪ Dokumentasi Hasil Pengamatan *Typha angustifolia*

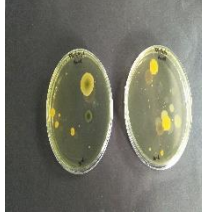
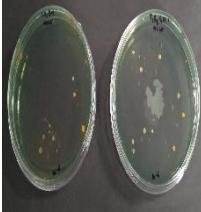
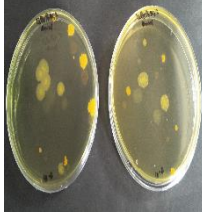



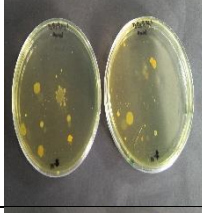
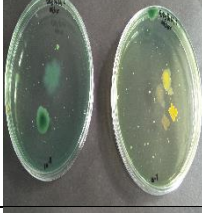
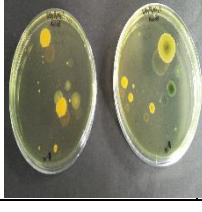
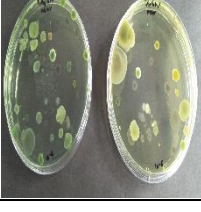
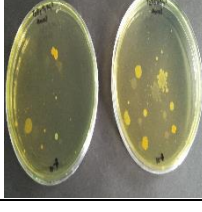
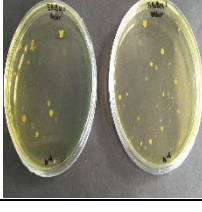
Reaktor Uji	Hari 1	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₂ B ₀					
					
T ₂ B _{2%}					
					
T ₂ B _{5%}					
					

▪ Dokumentasi Hasil Pengamatan Reaktor Tanpa Tumbuhan

Reaktor Uji	Hari 1	Hari 7	Hari 14	Hari 21	Hari 28
T ₀ B ₀					
					
T ₀ B _{2%}					
					
T ₀ B _{5%}					
					

LAMPIRAN 11
DOKUMENTASI PENGAMATAN BAKTERI

Reaktor	Awal	Akhir	Reaktor	Awal	Akhir
T ₁ B ₀			T ₂ B ₀		
T ₁ B _{2%}			T ₂ B _{2%}		

Reaktor	Awal	Akhir	Reaktor	Awal	Akhir
T ₁ B ₅ %			T ₂ B ₅ %		
					
					

LAMPIRAN 12

Hasil Analisis Laboratorium

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR



REPORT

Certificate of Analysis

No : 07401/KI/XII-2018
 Code : Penelitian
 Sample Sender : Mhs. TI ITS Surabaya
 Sample Name : Lar. tanah-tumbuhan
 Test : Al
 Sample Brand :
 Sample Identity : Cairan jernih
 Sample Accepted : 30 Nov. 2018

Chemical laboratory test result is :

Tanah:	Kode	Al, ppm	Tumbuhan: Batang	
			Kode	Al, ppm
1.	T1B0Ni awal	91,05	1. T1B0N1 awal	21,80
2.	Akhir	88,01	2. akhir	17,08
3.	T1B2%N1 awal	86,30	3. T1B2%N1 awal	19,06
4.	akhir	61,50	4. akhir	116,40
5.	T1B5%N1 awal	81,04	5. T1B5%N1 awal	17,45
6.	akhir	52,60	6. akhir	15,32
7.	T2B0N1 awal	82,40	7. T2B0Ni awal	20,15
8.	akhir	73,60	8. akhir	16,86
9.	T2B2%N1 awal	80,10	9. T2B2%N1 awal	15,82
10.	akhir	62,10	10. akhir	12,74
11.	T2B5%N1 awal	78,60	11. T2B5%N1 awal	11,45
12.	akhir	58,05	12. akhir	10,38
13.	ToB0No awal	96,80	13. Tanah Propagasi:	101,50
14.	akhir	92,05		
15.	ToB2%N1 awal	85,04		
16.	akhir	71,65		
17.	ToB5%N1 awal	82,08		
18.	akhir	64,80		

Surabaya, 6 Des. 2018
 Head of Chemical Laboratory Researcher

 M. Fatoni, M.S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
 Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
 Surabaya

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR



REPORT

Certificate of Analysis

No : 07267/KI/V-2018
Code : Penelitian
Sample Sender : Mhs. TL ITS Surabaya
Sample Name : Ektr. Tanah
Test : Fe-Al
Sample Brand :
Sample Identity : Cairan jernih
Sample Accepted : 23 Mei 2018

Chemical laboratory test result is :

Kode	Fe, %	Al, %
T2	0,35	0,13
T3	0,41	0,21
Abu	0,31	0,15
Bahan	0,28	0,11



Surabaya, 28 Mei 2018
Head of Chemical Laboratory Researcher
[Signature]
M. Fatoni, M.S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM



PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

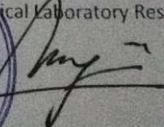
REPORT

Certificate of Analysis

No : 07051/KI/IV-2018
Code : Penelitian
Sample Sender : Mhs. TL ITS Surabaya
Sample Name : Tanah Taman
Test : C-N-P
Sample Brand :
Sample Identity : Padatan kekoklatan
Sample Accepted : 2 April 2018

Chemical laboratory test result is :

1. C , % : 3,61
2. N , % : 0,11
3. P_2O_5 , % : 0,08

Surabaya, 4 April 2018
Head of Chemical Laboratory Researcher

M. Fatoni, M.S.



Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

LAMPIRAN 13



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Cukolito, Surabaya 60111
Telp. 031-5943885, Fax: 031-5928357

FORMULIR TESIS ULT-02 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Senin, 07 Januari 2019
Jam : 15.00 - 17.00
Tempat : R. S203
Judul Tesis : Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan Scirpus grossus, Typha angustifolia dan Bioaugmentasi Bakteri Vibrio alginolyticus.
Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP : 03211650010011
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Tesis
	<p>Konsentrasi pencemar harus diturunkan dg media → <u>mg/L</u>.</p> <p>17/1-2019 <i>[Signature]</i></p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-02 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D

[Signature]
(.....)



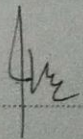
FORMULIR TESIS ULT-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Senin, 07 Januari 2019
Jam : 15.00 - 17.00
Tempat : R. S203
Judul Tesis : Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus*
Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP : 03211650010011
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Tesis
	<p>Penulisan pembulan → miring . → Gbr 4.18 . → daftar pustaka . Saran blm ada .</p> <p>17/19</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-02 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing
Ipung F. Purwanti, ST, MT, Ph.D

()



FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Senin, 07 Januari 2019
Jam : 15.00 - 17.00
Tempat : R. S203
Judul Tesis : Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus*.
Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP : 03211650010011
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1.	Kelua, Tabel 4.15 Bioaugmentasi
2.	Kelua bioaugmentasi. Tabel 4.19
3.	Kelua bioaugmentasi. Tabel 4.28 (67)
4.	Kelua bioaugmentasi. Tabel 4.28 (68)
5.	Kelua bioaugmentasi. Tabel 4.29

[Signature]
16-07-19

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Prof. Dr. Ir. Sarwoko M., M.Sc.E.S. *[Signature]*



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5924387

FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Senin, 07 Januari 2019
Jam : 15.00 - 17.00
Tempat : R. S203
Judul Tesis : Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus*.
Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP : 03211650010011
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

→ Banyaknya daun?

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
Catatan	Kesimpulan Sementara? Kesimpulan ≠ abstrak Anova → Pvalue? Mengapa daur ulang? Air PDAM?
1.	Al tinggi menurunkan kandungan Corg pd tanah. Why? → kesuburan tanah → pencemaran?
2.	Sbg Al-organik atau Al-anorganik? Bagaimana mekanisme penyerapannya?
3.	Bagaimana pertumbuhan daun dikaitkan dg efisiensi?

15/19

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Ir. Eddy S. Soedjono, MSc. PhD.



FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Senin, 07 Januari 2019
Jam : 15.00 - 17.00
Tempat : R. S203
Judul Tesis : Fitoremediasi Tanah Tercemar Aluminium Menggunakan *Scirpus grossus*, *Typha angustifolia* dan Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus*
Nama Mahasiswa : Adriana Obenu
NRP : 03211650010011
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1	Limbah → bukan mg/kg
2	Jelaskan apa maksud bioaugmentasi dan biostimulasi?
3	Bgm menentukan efektivitas pengujian?
4	Man. Bahan diri. ? ✓ Mekanisme ? ✓

15/1/2019
[Signature]

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah

Harmin S. Titah, ST, MT, PhD

[Signature]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Adriana Obenu lahir di Kefamenanu, 29 Agustus 1989. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Tunas Rimba Atambua, SD Inpres Tini Atambua, SMP Negeri II Atambua, SMA Katolik Suria Atambua. Setelah Lulus SMA penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan tinggi di Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (UNDANA) Kupang.

Selama perkuliahan penulis aktif sebagai peserta dan panitia dalam berbagai kegiatan di FST Biologi UNDANA. Penulis memiliki pengalaman berorganisasi sebagai anggota BEM FST, anggota HMJ Biologi, Koordinator Kuliah Lapangan HMJ Biologi, Badan Pengurus Keluarga Mahasiswa Katolik MIPA FST UNDANA. Selain itu penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium Biologi Dasar, Entomologi dan Ekologi Tumbuhan. Penulis menyelesaikan jenjang pendidikan Strata 1 pada tahun 2014 dan kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan Strata 2 di Program Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, ITS Surabaya melalui Program Beasiswa BUDI-DN dan terdaftar dengan NRP 03211650010011. Berbagai seminar juga telah diikuti oleh penulis dalam rangka mengembangkan kemampuan dan potensi diri. Penulis dapat dihubungi melalui email di adrianapotter3@gmail.com