



TUGAS AKHIR - RE 141581

# STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM

DEVITA YULISA SIMANJUNTAK  
0321144000082

Dosen Pembimbing  
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.  
NIP 197111142003122001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018





TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM**

DEVITA YULISA SIMANJUNTAK

0321144000082

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

NIP 197111142003122001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

**BIOAUGMENTATION STUDIES OF *Vibrio alginolyticus* ON ALUMINUM CONTAMINATED SOIL REMEDIATION**

DEVITA YULISA SIMANJUNTAK

03211440000082

SUPERVISOR

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

NIP 197111142003122001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA  
REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DEVITA YULISA S**  
NRP. 0321144000082

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



**Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD**

NIP. 19711114-200312 2 001



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium” dengan tepat waktu. Tugas akhir ini diselesaikan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan oleh berbagai pihak antara lain:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing yang telah mengajar dan membimbing selama penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES, Ibu Harmin Sulistyning Titah, ST., MT., PhD, Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD, dan Bapak Dr. Eng Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan bimbingan.
3. Keluarga saya yang selalu memberikan doa dan semangat selama pengerjaan tugas akhir.
4. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2014 yang telah memberikan saran serta dukungan.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak lainnya.

Surabaya, 26 Juli 2018

Penulis

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM**

Nama Mahasiswa : Devita Yulisa S  
NRP : 0321144000082  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

## **ABSTRAK**

Aluminium (Al) dapat ditemukan pada sebagian besar limbah industri, seperti tambang, pelapisan logam, dan bidang manufaktur. Limbah yang mengandung aluminium dikategorikan sebagai limbah bahan beracun dan berbahaya. Aluminium menjadi salah satu faktor penyebab penyakit yang menyerang saraf motorik manusia seperti alzheimer, parkinson, gangguan ginjal, liver hingga kelainan sel saraf. Penelitian menemukan bahwa kandungan aluminium dapat merusak ekosistem. Kandungan aluminium yang terdapat pada tanaman 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.

Bioaugmentasi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam bioremediasi yaitu dengan menambahkan bakteri luar pada media tercemar. Makhluk hidup yang digunakan merupakan bakteri resisten dan mampu menyisihkan aluminium. Isolat bakteri *Vibrio alginolyticus* digunakan karena telah terbukti mampu menyisihkan aluminium pada media Laktose Broth. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh bioaugmentasi bakteri terhadap media tanah tercemar dan menganalisis efisiensi penyisihan aluminium yang dapat terjadi.

Variasi konsentrasi larutan pencemar aluminium dan variasi penambahan bakteri *V. Alginolyticus* digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini. Penentuan konsentrasi larutan pencemar didasarkan pada uji resistensi bakteri terhadap aluminium. Variasi penambahan bakteri yang digunakan dalam v/v adalah 2%, 5%, dan 10%. Waktu uji setelah proses bioaugmentasi

isolat bakteri dilakukan selama 12 hari. Parameter yang diuji meliputi total aluminium, total koloni bakteri, pH, suhu, dan kelembapan tanah. Uji parameter fisik tanah meliputi suhu, pH, dan kelembapan dilakukan setiap hari. Uji total aluminium dan jumlah koloni bakteri *V.alginolyticus* dilakukan pada hari ke-0, hari ke-4, hari ke-8, dan ke-12.

Uji resistensi bakteri menggunakan variasi penambahan Al sebesar 0, 50, 100, 200, 350, dan 500 mg/L  $AlCl_3$ . *V.alginolyticus* mampu melakukan pertumbuhan pada penambahan 50 mg/L atau setara dengan 24 mg/kg aluminium. Penambahan aluminium 100 mg/L hingga 350 mg/L  $AlCl_3$  terbukti mampu menghambat pertumbuhan bakteri *V.alginolyticus*. Sementara penambahan 500 mg/L  $AlCl_3$  atau setara dengan 235 mg/kg mampu menghambat seluruh aktivitas pertumbuhan bakteri, dimana tidak terdapat bakteri tumbuh pada uji CFU. Berdasarkan uji statistik ANOVA, penambahan 50 dan 100 mg/L  $AlCl_3$  dipilih sebagai variasi dalam uji bioaugmentasi karena memiliki pertumbuhan koloni bakteri yang berbeda tidak signifikan terhadap reaktor kontrol. Hasil uji bioaugmentasi *V.alginolyticus* pada tanah tercemar aluminium menunjukkan bahwa penambahan bakteri tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap persentase penyisihan aluminium ( $p>0,05$ ). Dimana penyisihan tertinggi hanya mencapai 5,48% pada reaktor dengan penambahan 2% v/v bakteri *V.alginolyticus* dan 100 mg/L  $AlCl_3$ .

**Kata kunci: Aluminium, Bakteri, Bioaugmentasi, Tanah Tercemar, *Vibrio alginolyticus*.**

# **BIOAUGMENTATION STUDIES of *Vibrio alginolyticus* ON ALUMINUM CONTAMINATED SOIL REMEDIATION**

Student's name : Devita Yulisa S  
NRP : 0321144000082  
Departement : S1- Environmental Engineering  
Supervisor : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

## **ABSTRACT**

Aluminum is present in several environment pollutant namely industrial waste water from mining activities, metal processing, and automobile industries. Waste containing aluminum is categorized as toxic and hazardous waste material. Aluminum may be a contributing factor in neurodegenerative disease such as Alzheimer's, Parkinson's, kidney disorder, liver to nerve cell abnormalities. The study found that aluminum can damage the ecosystem. Aluminum contained in lant can also inhibit root growth. High aluminum level can decrease organic carbon contained on soil. If left untreated, aluminum in environment can lead to decreased soil fertility to groundwater contamination.

Bioaugmentation is one of methods used in bioremediation by adding external bacteria to contaminated media. Microorganism used for bioremediation are resistant bacteria and capable of removing aluminum. *Vibrio alginolyticus* is used because it has been shown to remove aluminum in Laktose Broth medium. The purpose of this study was to analyze the effect of bacterial bioaugmentation on aluminum contaminated soil and measure the efficiency of aluminum removal.

Volume of *V.alginolyticus* and aluminum concentration were used as variable in this study. Concentration of pollutant used in this study based on the toxicity test of aluminum to *V.alginolyticus*. Volume of bacterial used were 2%, 5%, and 10% v/v addition. Bioaugmentation of *V.alginolyticus* on aluminum contaminated soil was conducted over 12 days. Parameters tested were total aluminum, total bacteria colony, pH, temperature, and moisture content of contaminated soil. Physical parameters such as pH, temperature, and moisture were analyzed every 24-hour

during the test period. Total aluminum and colony of *V.alginolyticus* were analyzed after 0, 4, 8, and 12 days.

Toxicity test to *V.alginolyticus* used 0, 50, 100, 200, 350, and 500 mg/L  $\text{AlCl}_3$ . *V.alginolyticus* could grow in soil until 50 mg/L equal to 24 mg/kg aluminum added. Concentration of 100 to 350 mg/L of aluminum contaminated soil could inhibit the bacterial growth. Concentration 500 mg/L equal to 235 mg/kg totally inhibit the bacterial growth, indicated by no colony forming in CFU test. Based on ANOVA, 50 and 100 mg/L addition of  $\text{AlCl}_3$  is used on bioaugmentation of *V.alginolyticus* because have no difference to control significantly. The result showed that bioaugmentation of *V.alginolyticus* didn't influence aluminum removal percentage ( $p>0,05$ ). Where 2% v/v addition of *V.alginolyticus* and 100 mg/L  $\text{AlCl}_3$  showed 5,48% of removal.

**Keywords: Aluminum, Bacteria, Bioaugmentation, Contaminated Soil, *Vibrio alginolyticus*.**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Karakteristik Aluminium.....	7
2.2 Manfaat Aluminium.....	8
2.3 Dampak Aluminium Bagi Kesehatan dan Lingkungan.....	8
2.4 Bioremediasi.....	9
2.5 Bioaugmentasi.....	10
2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi dan Bioaugmentasi.....	11
2.7 Bakteri <i>Vibrio aglinoalyticus</i> .....	14
2.8 Pertumbuhan Mikroorganisme.....	16
2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme.....	18
2.10 Mekanisme Penyisihan Aluminium oleh Bakteri.....	20
2.11 Uji Analisis Variansi ANOVA.....	21
2.12 Penelitian Terdahulu.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Kerangka Penelitian.....	25
3.2 Ide Penelitian.....	25
3.3 Studi Literatur.....	29
3.4 Persiapan Penelitian.....	30
3.5 Uji Kapasitas Retensi dan Densitas Tanah.....	33
3.6 Uji Karakteristik Tanah.....	33
3.7 Peremajaan Isolat Bakteri.....	34
3.8 Uji Resistensi Bakteri <i>V.alginoyticus</i> Terhadap Penambahan Aluminium.....	34

3.9 Penelitian Utama .....	35
3.10 Hasil dan Pembahasan .....	38
3.11 Kesimpulan dan Saran .....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1 Uji Resistensi Bakteri <i>V.alginolyticus</i> .....	41
4.2 Bioaugmentasi <i>V.alginolyticus</i> Pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium .....	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN .....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Vibrio alginolyticus</i> .....	14
Gambar 2.2 Laju Pertumbuhan Bakteri .....	16
Gambar 2.3 Kurva Laju Pertumbuhan Mikroorganisme.....	18
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	28
Gambar 3.2 Pelaksanaan Uji Resistensi Bakteri .....	35
Gambar 3.3 Dimensi Reaktor Uji yang Digunakan dalam Penelitian.....	37
Gambar 3.4 Skema Reaktor Uji dalam Penelitian .....	38
Gambar 4.1 Log Koloni <i>V.alginolyticus</i> Pada Uji Resistensi Bakteri.....	42
Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Bakteri Pada Jam ke-24 .....	44
Gambar 4.3 Hasil Analisa Statistik ANOVA Uji Resistensi Bakteri .....	45
Gambar 4.4 Hasil pengukuran suhu tanah selama waktu uji.....	48
Gambar 4.5 Hasil pengukuran pH tanah selama waktu uji.....	50
Gambar 4.6 Log CFU Bakteri pada Tiap Reaktor Selama Waktu Uji ....	53
Gambar 4.7 Persentase Penyisihan Aluminium pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri .....	59
Gambar 4.8 Persentase Penyisihan Aluminium pada Reaktor Dengan Penambahan Bakteri .....	59
Gambar 4.9 Hasil analisa uji ANOVA pada Penambahan Bakteri Terhadap Persentase Penyisihan Al.....	61
Gambar 4.10 Hasil Analisa Uji Tukey pada Variasi Penambahan Bakteri Terhadap Persentase Penyisihan Al .....	62

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Proses Degradasi ..	12
Tabel 2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioaugmentasi .....	13
Tabel 2.3 Peranan Organisme yang Dapat Menyisihkan Aluminium .....	23
Tabel 3.1 Perlakuan Reaktor Uji Berdasarkan Variabel Penelitian .....	36
Tabel 4.1 Hasil Analisis Koloni <i>V.alginolyticus</i> Pada Media Selektif .....	55
Tabel 4.2 Hasil Analisis Aluminium .....	57

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur Peremajaan Isolat Bakteri .....	73
Lampiran 2 Prosedur Pembuatan Larutan Stok Aluminium .....	75
Lampiran 3 Prosedur Uji Koloni Bakteri .....	77
Lampiran 4 Metode Ekstraksi Tanah Dengan Aqua Regia.....	79
Lampiran 5 Hasil Perhitungan Koloni Bakteri pada Uji Resistensi.....	81
Lampiran 6 Hasil Pengamatan Koloni Bakteri pada Uji Resistensi.....	83
Lampiran 7 Hasil Pengukuran Suhu pada Uji Bioaugmentasi .....	85
Lampiran 8 Hasil Pengukuran pH pada Uji Bioaugmentasi .....	87
Lampiran 9 Hasil Pengukuran Kelembapan pada Uji Bioaugmentasi ...	89
Lampiran 10 Hasil Perhitungan Koloni Bakteri pada Uji Bioaugmentasi.	91
Lampiran 11 Hasil Analisis Kandungan Total Aluminium .....	93
Lampiran 12 Perhitungan Penambahan Nutrisi pada Reaktor Uji .....	95
Lampiran 13 Hasil Pengamatan Koloni Bakteri Uji Bioaugmentasi .....	97

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aluminium (Al) adalah logam dengan jumlah melimpah di kerak bumi dan merupakan elemen terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon (Tsakiridis, 2012). Karakteristik utama aluminium antara lain ringan (berat jenis =  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ), memiliki konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, tahan terhadap korosi, dan kuat (Sofyan, 2010). Oleh karena aluminium sangat reaktif khususnya dengan oksigen, maka unsur tersebut tidak pernah dijumpai dalam keadaan bebas di alam. Aluminium ditemui sebagai senyawa yang merupakan penyusun utama dari bahan tambang yakni biji bauksit, berupa campuran oksida dan hidroksida aluminium (Sugiyarto, 2003). Aluminium banyak digunakan di berbagai bidang kehidupan seperti transportasi, konstruksi, dan peralatan rumah tangga. Bidang transportasi terutama pada industri kedirgantaraan sangat diuntungkan dengan kekuatan Al yang tinggi (Pina dan Cervantes, 1996). Pada bidang perindustrian, obat-obatan seperti tablet antasida mengandung beberapa ratus miligram Aluminium hidroksida serta zat aditif makanan dalam bentuk *Sodium Aluminium Phospate* (SALPs) (Lopez *et al.*, 2002).

Struktur kimia dan kelarutan Al dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH. Pada pH dibawah netral, Al berada pada keadaan tidak larut sebagai  $\text{Al(OH)}_3$ . Karena proses asidifikasi,  $\text{Al(OH)}_3$  berubah menjadi ion terlarut seperti  $\text{Al(OH)}_4^-$ ,  $\text{Al(OH)}_2^+$ ,  $\text{AlOH}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . Pada pH dibawah 5,0 toksisitas aluminium mampu menghambat pertumbuhan tanaman (Akbarzadeh, 2014). Ketika pH menurun menjadi 5,0 atau lebih rendah, aluminium berubah menjadi larut dan beracun terhadap mikroorganisme (Chau *et al.*, 2014). Walaupun aluminium tidak termasuk dalam pencemar utama lingkungan, namun dapat ditemukan pada sebagian besar limbah industri, diantaranya berasal dari aktivitas tambang, kegiatan pengolahan logam, maupun manufaktur (Ojumu *et al.*, 2006 ; Blight dan Ralph, 2008). Toksisitas Al mampu menghambat pertumbuhan akar tanaman

(Krstic *et al.*, 2012). Disamping itu, aluminium juga menjadi salah satu faktor penyebab penyakit seperti Alzheimer, *Amyotrophic lateral sclerosis*, dan *Parkinson dementia* pada manusia (Qaiyum *et al.*, 2011). Beberapa industri daur ulang aluminium di daerah Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang menghasilkan limbah padat (*slag*) yang berpotensi mencemari air dan lahan pertanian karena masih mengandung aluminium (Laksono dan Muzayanah, 2016).

Beberapa metode digunakan dalam menyisahkan logam antara lain melalui proses presipitasi, oksidasi-reduksi, pertukaran ion, filtrasi, elektrokimia, dan evaporasi. Sebagian besar metode tersebut tidak efektif atau membutuhkan biaya besar ketika konsentrasi logam berada dibawah 100 mg/L (Ahluwalia dan Goyal, 2007). Hal tersebut sejalan dengan Hamdi *et al.* (2007), menjelaskan bahwa metode fisik-kimia umumnya memerlukan biaya yang mahal, kebutuhan energi tinggi, dan membutuhkan reagen kimia yang cukup banyak. Hal tersebut menjadi alasan utama mengapa penggunaan mikroorganisme lebih diutamakan dalam proses degradasi kontaminan logam. Namun perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme agar dapat mendegradasi kontaminan secara efektif. Menurut Isnadina dan Hermana (2013), bahan organik pada badan air dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Hal tersebut dikarenakan bahan organik adalah sumber karbon bakteri. Selain itu, faktor lingkungan seperti pH dan salinitas juga mempengaruhi metabolisme mikroorganisme. Menurut Ayuti (2016), pH mempengaruhi kemampuan mikroorganisme untuk mengadakan transpor membran sel dan kesetimbangan dari reaksi katalis. Sementara suhu akan mempengaruhi reaksi kimia dalam proses metabolisme bakteri (Sarhini, 2012). Beberapa faktor yang juga perlu dianalisa yakni pertumbuhan mikroba, resistensi mikroba terhadap kontaminan, dan kondisi lingkungan yang tercemar (Thompson *et al.*, 2005).

Bioremediasi merupakan proses degradasi atau penyisihan kontaminan lingkungan dengan memanfaatkan makhluk hidup (Suresh dan Ravishankar, 2004). Salah satu pendekatan biologis secara insitu adalah bioaugmentasi, yang

dapat meningkatkan kapasitas media tercemar dengan kemampuan degradasi polutan oleh mikroorganisme (Mrozik dan Seget, 2010). Bioaugmentasi pada media tanah membutuhkan data mengenai jenis tanah, volume kontaminan, dan *strain* mikroba yang sesuai. Setiap spesies mikroba memiliki nilai pH dan suhu terbaik untuk pertumbuhan dan produksi asam laktat (Subagiyo dkk, 2015).

Beberapa mikroorganisme yang dapat digunakan untuk bioremediasi logam adalah *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, dan *Aspergillus niger* (Kumar *et al.*, 2010). Bakteri *Providencia rettgeri* dapat menyisihkan aluminium pada konsentrasi  $Al^{3+}$  sebesar 50 mg/L (Abo-Amer *et al.*, 2013). Kombinasi bakteri *Desulfovibrio desulfuricans*, *Proteus sp*, dan *Ralstonia sp* dapat menyisihkan Al pada konsentrasi  $Al^{3+}$  173 mg/L setelah 27 hari inkubasi (Martins *et al.*, 2012). Sementara itu isolat bakteri tanah liat di pegunungan Ching kang, China, mampu menyisihkan aluminium hingga 97,7% pada konsentrasi  $Al^{3+}$  54 mg/L (Shoucheng *et al.*, 2017). Bakteri *Vibrio alginolyticus* merupakan bakteri resistan terhadap lingkungan tercemar aluminium hingga konsentrasi 325 mg/L dan mampu menyisihkan Al hingga 59,72% pada kondisi asam (Kurniawan, 2017).

Dalam penelitian ini, dilakukan proses bioaugmentasi atau penambahan bakteri *V.alginolyticus* pada tanah tercemar aluminium. Sehingga dapat dianalisa pengaruh bioaugmentasi pada media tanah dan kemampuan bakteri *V.alginolyticus* dalam menyisihkan aluminium. Variasi konsentrasi aluminium dan variasi volume penambahan bakteri digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Aluminium merupakan salah satu polutan lingkungan yang berpotensi mencemari tanah. Pada kondisi tertentu, aluminium dapat bersifat toksik pada tumbuhan dan mikroorganisme. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian mengenai metode penyisihan aluminium sebagai salah satu tindak penanggulangan pencemaran tanah. Metode yang digunakan adalah bioaugmentasi, berupa penambahan bakteri

luar yang bertujuan untuk menyisihkan aluminium. Bakteri *V. alginolyticus* merupakan salah satu bakteri yang telah terbukti mampu menyisihkan aluminium pada media Laktose Broth. Analisis yang dilakukan terdiri atas pengaruh penambahan bakteri *V.alginolyticus* pada media tanah tercemar dan efisiensi penyisihan aluminium.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

- a. Menganalisis pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada remediasi tanah tercemar aluminium dalam skala laboratorium.
- b. Menganalisis efisiensi penyisihan aluminium yang dapat dilakukan oleh bakteri *V.alginolyticus* pada remediasi tanah tercemar aluminium dalam skala laboratorium.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- a. Sebagai alternatif pengolahan yang dapat digunakan untuk remediasi aluminium pada media tanah.
- b. Sebagai referensi penelitian lanjutan terkait penyisihan kandungan aluminium pada media tanah menggunakan bakteri.
- c. Sebagai referensi penelitian terkait jenis bakteri yang dapat menyisihkan kandungan aluminium pada media tanah dalam bidang pendidikan.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka ruang lingkup pada penelitian ini antara lain:

- a. Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan dan Limbah Padat & B3 Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- b. Bakteri *V.alginolyticus* merupakan bakteri hasil isolasi tanah tercemar aluminium di kawasan

industri daur ulang aluminium Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang.

- c. Media tanah tercemar aluminium buatan merupakan *spiked soil* yang terdiri atas media tanah dan larutan pencemar aluminium.
- d. Media tanah yang digunakan merupakan tanah kebun.
- e. Pencemar aluminium yang digunakan adalah larutan stok aluminium menggunakan serbuk Aluminium klorida ( $AlCl_3$ ).
- f. Media tanah tercemar aluminium dikondisikan agar berada dalam kondisi asam dengan pH  $\pm$  5,0 sebagai pH optimum pertumbuhan *V.alginolyticus* (Kurniawan, 2017).
- g. Variabel yang digunakan adalah konsentrasi aluminium dan volume penambahan bakteri *V.alginolyticus*.
- h. Dilakukan penambahan nutrisi berupa asam asetat ( $CH_3COOH$ ) bagi pertumbuhan bakteri.
- i. Parameter yang diuji pada penelitian ini antara lain pH, suhu, kelembapan tanah, jumlah koloni bakteri, dan total aluminium.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Aluminium**

Aluminium merupakan logam ringan, konduktif, dan tahan korosi dengan tingkat afinitas tinggi terhadap oksigen. Kombinasi sifat tersebut membuat aluminium dapat dimanfaatkan pada bidang dirgantara, konstruksi, arsitektur, kelautan, serta rumah tangga. Aluminium yang berwarna keperakan berfungsi sebagai konduktor panas dan listrik yang baik. Sifat mudah dibentuk melalui proses penyetakan dan ekstruksi, juga menjadi salah satu ciri logam tersebut. Aluminium memiliki dua keuntungan utama jika dibandingkan dengan logam lainnya. Pertama, aluminium memiliki berat jenis yang kecil sekitar sepertiga dari berat jenis besi dan tembaga. Kedua, dapat bereaksi dengan cepat terhadap oksigen dengan membentuk lapisan tipis tangguh yang bersifat tahan terhadap oksidasi lebih lanjut (Dhaka, 2015). Ketahanan dan kekuatan aluminium lebih tinggi dibandingkan material lainnya dan dapat digunakan pada temperatur tinggi (Mathavan dan Patnaik, 2016).

Ketahanan korosi yang sangat baik yang dimiliki oleh aluminium disebabkan oleh adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaannya. Jika lapisan ini rusak misalnya karena tergores, maka dengan seketika lapisan tersebut dapat diperbaiki kembali. Meskipun lapisan ini sangat tipis (1 nm), namun lapisan ini sangat efektif melindungi aluminium dari proses korosi. Pada karakteristik lingkungan tertentu, tebal lapisan oksida dapat lebih tebal dari 1 nm (Suratman, 2001).

Aluminium sekunder dikenal sebagai hasil daur ulang aluminium. Seluruh produk aluminium dapat didaur ulang setelah digunakan. Daur ulang aluminium menjadi sangat penting dilihat dari faktor ekonomi dan lingkungan. Jika dibandingkan dengan produksi utama aluminium, proses daur ulang aluminium hanya memerlukan 5% energi dan menghasilkan 5% gas rumah kaca. Selain itu, proses daur

ulang dapat menghemat bahan baku, dimana sisa material aluminium dapat didaur ulang kembali (Tsakiridis, 2012). Aluminium memiliki ciri yang unik secara ekonomi dalam proses daur ulangnya, dimana hanya membutuhkan sekitar 5% dari total energi selama proses pembentukan logam untuk menghasilkan aluminium dengan kuantitas yang sama (Cobden *et al.*, 1994).

## **2.2 Manfaat Aluminium**

Paduan aluminium secara luas digunakan sebagai bahan penyusun utama sebuah material. Karena massanya yang ringan, telah banyak dilakukan riset mengenai aluminium untuk perkembangan kemajuan teknologi (Suragimath, 2013). Penggunaan aluminium pada masa mendatang diperkirakan masih terbuka luas baik sebagai material utama maupun material pendukung. Hal tersebut didukung dengan ketersediaan biji aluminium yang melimpah. Aluminium dapat dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Produk-produk aluminium dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*). Aluminium hasil pengecoran banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif misalnya rim (*cast wheel*), piston, mesin dan lain sebagainya. Aluminium hasil pembentukan diperoleh melalui proses ekstrusi, misalnya aluminium profil dan plat yang banyak digunakan dalam konstruksi (Purwanto, 2010).

## **2.3 Dampak Aluminium Bagi Kesehatan dan Lingkungan**

Aluminium dapat bermanfaat maupun berbahaya bergantung pada beberapa faktor, termasuk besar intensitas paparan terhadap makhluk hidup. Aluminium menjadi salah satu faktor penyebab penyakit yang menyerang saraf motorik manusia. Beberapa penyakit tersebut antara lain Alzheimer, *Amyotrophic lateral sclerosis*, dan *Parkinson dementia*. Hal tersebut membuat konsentrasi aluminium pada air minum dan air baku menjadi perhatian besar diseluruh dunia. Studi mengungkapkan bahwa kadar aluminium yang tinggi ( $>0,10$

mg/L) memiliki risiko terhadap penyakit Alzheimer (Qaiyum *et al.*, 2011).

Sifat racun yang ditimbulkan oleh aluminium masih bersifat lebih aman bila dibandingkan dengan merkuri atau timbal. Walaupun demikian, aluminium terkandung dalam berbagai jenis cairan dan jaringan tubuh makhluk hidup. Namun pada konsentrasi yang lebih tinggi, aluminium berpotensi menyebabkan beberapa masalah kesehatan. Penyakit yang dapat ditimbulkan diantaranya anemia, kelainan sel darah, gangguan ginjal dan liver, kerapuhan tulang serta kelainan sel saraf (Lokeshappa, 2012).

Aluminium juga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap tanah maupun tanaman. Menurut Krstic *et al.* (2012), faktor utama yang membatasi pertumbuhan tanaman adalah toksisitas Al. Pada sebgaaian besar tanaman pertanian, ion Al dengan cepat menghambat pertumbuhan akar pada konsentrasi mikromolar. Toksisitas aluminium sebagian besar menyerang bagian akar pada sistem meristem apikal tanaman. Paparan aluminium juga dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan akar primer dan akar lateral tanaman. Karena aluminium mempengaruhi berbagai jenis sel yang berbeda, maka semakin sulit untuk mengidentifikasi efek utama dari toksisitas Al. Semakin tinggi kandungan aluminium maka semakin berkurang kandungan karbon organik tanah (Gusva, 2017).

## **2.4 Bioremediasi**

Beberapa metode digunakan dalam menyisihkan logam antara lain melalui proses presipitasi, oksidasi-reduksi, pertukaran ion, filtrasi, elektrokimia, dan evaporasi. Sebagian besar metode tersebut tidak efektif atau membutuhkan biaya besar ketika konsentrasi logam berada dibawah 100 mg/L (Ahluwalia dan Goyal, 2007). Hal tersebut sejalan dengan Hamdi *et al.* (2007), menjelaskan bahwa metode fisik-kimia umumnya memerlukan biaya yang mahal, kebutuhan energi tinggi, dan membutuhkan reagen kimia yang cukup banyak. Hal tersebut menjadi salah satu alasan mengapa penggunaan mikroorganisme lebih diutamakan dalam proses degradasi

kontaminan logam. Namun perlu diperhatikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme agar dapat mendegradasi kontaminan secara efektif.

Menurut Kensa (2011), bioremediasi merupakan proses degradasi kontaminan menjadi bentuk yang lebih aman terhadap lingkungan menggunakan makhluk hidup. Proses tersebut melibatkan bakteri, jamur, maupun tumbuhan alami yang dapat mendegradasi senyawa berbahaya terhadap kesehatan serta lingkungan. Mikroorganisme yang digunakan dapat berupa mikroba asli yang hidup pada lingkungan yang tercemar maupun hasil isolasi dari tempat lain. Bioremediasi merupakan alternatif efektif untuk menyisihkan kontaminan melalui aktivitas biologis. Metode tersebut dapat diterima oleh masyarakat karena tidak memerlukan biaya besar, mudah diaplikasikan, dan dapat langsung diterapkan pada lingkungan tercemar. Vidali (2001) menjelaskan bahwa bioremediasi merupakan teknologi restorasi lingkungan tercemar untuk menurunkan toksisitas polutan dengan menggunakan mikrobia.

Seperti teknologi pada umumnya, bioremediasi memiliki beberapa kelemahan. Beberapa kontaminan seperti senyawa organik klorinasi dan hidrokarbon aromatik memiliki sifat resistan terhadap pengaruh mikroba. Senyawa tersebut dapat terdegradasi secara lambat maupun tidak. Mikroorganisme memiliki peran mengubah kontaminan menjadi bentuk yang lebih aman melalui reaksi enzimatik. Sehingga bioremediasi dapat berjalan efektif ketika berada pada lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroba. Selain itu, meskipun metode yang digunakan tidak kompleks, namun membutuhkan kemampuan dan pengalaman untuk penerapan bioremediasi.

## **2.5 Bioaugmentasi**

Salah satu teknik bioremediasi secara insitu adalah bioaugmentasi. Bioaugmentasi merupakan teknik pemanfaatan mikroba yang memiliki kemampuan mendegradasi pada lingkungan tercemar (Mrozik dan Seget, 2010). Menurut Vogel (1996), bioaugmentasi merupakan kegiatan penambahan atau introduksi mikroorganisme untuk meningkatkan aktivitas

biologis spesifik suatu media. Sementara menurut Thapa (2012), bioaugmentasi merupakan penambahan sekelompok mikroba *indigenous* atau mikroba hasil isolasi untuk memulihkan tanah tercemar. Proses bioaugmentasi berperan efektif apabila bakteri alamiah tanah belum teridentifikasi atau tidak memiliki kemampuan untuk melakukan proses remediasi.

Menurut Kensa (2011), bioaugmentasi merupakan penambahan mikroorganisme *indigenous* dan *exogenous* pada lingkungan atau media tercemar. Terdapat dua faktor yang membatasi penggunaan mikroba pada lingkungan tercemar. Pertama, populasi mikroba yang ditambahkan sangat jarang dapat bekerja sinergis dengan bakteri alami media untuk proses degradasi kontaminan dan adanya mikroba alami yang mampu mendegradasi kontaminan.

Pada proses bioaugmentasi di media tanah, harus diketahui data mengenai jenis tanah, volume kontaminan, dan *strain* mikroba yang sesuai. Analisa yang dapat dilakukan meliputi kecepatan pertumbuhan, batas kemampuan untuk bertahan pada konsentrasi kontaminan, dan kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan yang keras. Penelitian mengindikasikan bahwa penggunaan satu kelompok bakteri lebih efektif menyisihkan polutan dibandingkan dengan *single strain* mikroba (Koul, 2014).

## **2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi dan Bioaugmentasi**

Menurut Kensa (2011), optimasi dan kontrol proses bioremediasi merupakan satu kesatuan kompleks yang melibatkan banyak faktor. Faktor-faktor tersebut terdiri atas ketersediaan populasi mikroba yang mampu mendegradasi polutan, jumlah kontaminan terhadap populasi mikroba, dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan terdiri atas jenis tanah, suhu, derajat keasaman (pH), ketersediaan oksigen dan akseptor elektron, serta adanya nutrisi. Jenis tanah juga akan mempengaruhi densitas atau kerapatan tanah dimana berdasarkan Hardjowigeno (2007), tanah mineral memiliki densitas sebesar 1,0-1,6 g/cm<sup>3</sup> dan tanah organik sebesar 0,10-0,90 g/cm<sup>3</sup>. Ketersediaan mikroba berhubungan dengan

penggunaan mikroba alami maupun hasil isolasi. Pada awalnya mikroba yang ditambahkan mulai beradaptasi pada kondisi lingkungan yang baru. Kemudian mikroba melakukan proses pertumbuhan (aktivitas biologis) untuk melakukan degradasi polutan yang ada.

Tabel 2.1 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Proses Degradasi

<b>Parameter</b>	<b>Kondisi ideal untuk pertumbuhan mikroba</b>
Kelembapan Tanah	25-28% dari <i>water holding capacity</i>
pH Tanah	5.5 – 8.8
Ketersediaan Oksigen	Aerobik. Minimum udara mengisi pori-pori 10%
Ketersediaan Nutrien	N dan P untuk pertumbuhan mikroba
Temperature (°C)	15 – 45
Kontaminan	Tidak terlalu beracun
Logam Berat	Maksimum 2000 ppm
Jenis Tanah	Jenis tanah liat atau lanau

*Sumber: Kensa, 2011*

Berdasarkan Tabel 2.1, telah dicantumkan parameter dalam faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses degradasi kontaminan pada media tanah. Pertumbuhan dan aktivitas biologis mikroba sangat bergantung pada faktor lingkungan yakni pH, temperatur, dan kelembapan. Untuk media tanah, pH optimum sekitar 5,5 – 8,8 dengan temperatur 15°C – 45°C. Nutrien dan oksigen juga dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Nutrien digunakan sebagai sumber energi dalam pembentukan sel sementara oksigen dimanfaatkan pada proses respirasi sel. Penambahan nutrien merupakan bagian dari proses biostimulasi untuk membantu mikroba. Jenis nutrien yang digunakan bervariasi diantaranya senyawa karbon, nitrogen, dan fosfor. Jenis tanah juga mempengaruhi proses degradasi dimana berfungsi sebagai

tempat proses berlangsung. Untuk media tanah disarankan menggunakan tanah liat atau *silt* (lanau).

Tabel 2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioaugmentasi

Faktor	Deskripsi	Referensi
Kematian sel pada proses inokulasi	Karena perubahan kondisi lingkungan yang ekstrim	Van Veen <i>et al.</i> (1997)
Kematian sel setelah proses inokulasi	Kebutuhan nutrisi tidak terpenuhi atau adanya racun	Goldstein <i>et al.</i> (1985)
Ketersediaan Nutrien	Kompetisi antar mikroba untuk mendapatkan nutrisi	Thompson <i>et al.</i> (2005), El Fantroussi dan Agathos (2005)
Gangguan organisme lain	Populasi bakteri dapat bersaing dengan pertumbuhan protozoa	Bouchez <i>et al.</i> (2000)
pH	pH yang tinggi dapat menghambat proses degradasi	Dibble dan Bartha (1979)
Temperatur	Efek dari pertumbuhan mikroba dan proses degradasi	Atlas (1981)
Kelembapan	Kelembapan yang rendah mempengaruhi pertumbuhan mikroba dan aerasi tanah lebih tinggi	Dibble dan Barth (1979), Leahy and Colwell (1990)

Sumber: Koul *et al.*, 2014

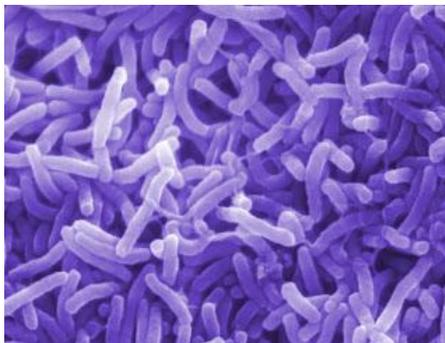
Berdasarkan Tabel 2.2, diuraikan beberapa faktor yang mempengaruhi proses bioaugmentasi. Karena bioaugmentasi merupakan penambahan mikroba pada media tercemar maka dimungkinkan terjadinya kematian baik saat proses maupun sesudah inokulasi. Hal tersebut dapat disebabkan karena kurangnya nutrisi atau ketidakmampuan mikroba beradaptasi

pada lingkungan baru (kondisi ekstrim). Pertumbuhan mikroba bergantung pada nutrisi dan kondisi lingkungan di mana mikroba berada. Ketersediaan nutrisi menjadi faktor penting karena digunakan sebagai sumber energi. Kelembapan, derajat keasaman (pH), dan temperatur lingkungan yang tidak sesuai kondisi ideal mikroba dapat menghambat pertumbuhan dan degradasi polutan.

## 2.7 Bakteri *Vibrio aglino*lyticus

Bakteri *V. aglino*lyticus termasuk dalam kelompok Famili Vibrionaceae. Sampai saat ini, genus *Vibrio* memiliki 91 spesies yang telah teridentifikasi, namun empat spesies bakteri *Vibrio* yang sering diisolasi di laboratorium adalah *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, dan *Vibrio aglino*lyticus (Mustapha *et al.*, 2013). Adapun taksonomi dari *V. aglino*lyticus:

Kingdom: Bakteri  
Filum : Proteobacteria  
Kelas : Gammaproteobacteria  
Order : Vibrionales  
Famili : Vibrionaceae  
Genus : *Vibrio*  
Spesies : *Aglino*lyticus

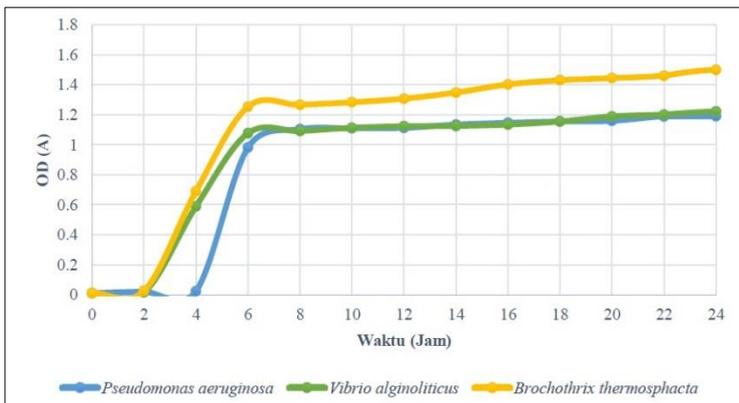


Gambar 2.1 *Vibrio aglino*lyticus  
Sumber : Reilly *et al.* (2011)

*V.alginolyticus* merupakan bakteri gram negatif halofilik yang dapat ditemukan secara alami di wilayah laut dan muara (Reilly *et al.*, 2011). Studi menunjukkan bahwa *V.alginolyticus* dianggap sebagai spesies yang hidup bebas pada air laut dan sedimen. Spesies tersebut dapat bertahan hidup di air laut bahkan pada kondisi kurang nutrisi (Mustapha *et al.*, 2013). Long *et al.* (1981) menjelaskan bahwa bakteri *V.alginolyticus* menghasilkan kolagen ekstraselular yang dapat diinduksi dengan aktivitas spesifik. Enzim disintesis saat bakteri memasuki fase pertumbuhan stationer dan diinduksi oleh adanya kolagen dan pepton.

Spesies ini diakui sebagai bakteri patogen terhadap manusia dan infeksi bakteri terus meningkat secara signifikan selama musim panas. Infeksi *V. Alginolyticus* disebabkan oleh adanya luka akibat paparan air laut yang terkontaminasi. Infeksi dari bakteri tersebut dapat diatasi dengan menggunakan antibiotik (Reilly *et al.*, 2011). *V.alginolyticus* merupakan salah satu bakteri penyebab penyakit vibriosis. Penyebaran penyakit vibriosis dapat melalui spesies laut seperti udang, kepiting, dan ikan (Wei dan Wendy, 2012). Dilaporkan telah terjadi 96 kasus penyakit menyerang manusia yang disebabkan oleh infeksi *V.alginolyticus* setelah mengonsumsi udang di Hongshan, China (Mustapha *et al.*, 2013).

Berdasarkan Kurniawan (2017), dilakukan uji laju pertumbuhan pada 3 jenis isolat bakteri yang berasal dari sampel tanah Industri Daur Ulang Aluminium Kota Jombang yakni *Brochothrix thermosphacta*, *Vibrio alginolyticus*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Uji laju pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui waktu pertumbuhan eksponensial dari masing-masing spesies bakteri. Dimana pada masa eksponensial ini adalah fase terbaik bakteri untuk digunakan sebagai inokulum. Hasil uji laju pertumbuhan didapatkan bahwa bakteri *V.alginolyticus* memiliki waktu eksponensial pada jam ke-6. Hasil uji laju pertumbuhan ketiga spesies bakteri dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Laju Pertumbuhan Bakteri

Sumber : Kurniawan (2017)

## 2.8 Pertumbuhan Mikroorganism

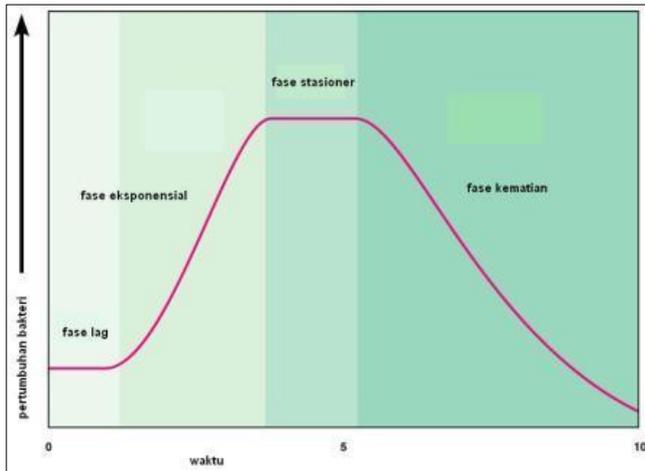
Mikroorganism merupakan subjek dalam proses biodegradasi sehingga berlangsungnya proses biodegradasi sangat dipengaruhi oleh adanya aktivitas mikroorganism tersebut (Abuhamed, 2004). Menurut Sarbini (2012), kurva pertumbuhan bakteri dapat dibagi ke dalam empat fase pertumbuhan yaitu:

### a. Fase Penyesuaian (*lag phase*)

Pada fase ini mencakup interval waktu antara tahap penanaman mikroorganism dan saat tercapainya kecepatan pembelahan maksimum. Pada fase ini bakteri melakukan sintesa molekul-molekul serta enzim yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel. Menurut Pelczar dan Chan (2005), pada fase ini sel mengalami perubahan komposisi kimiawi dan ukuran, serta substansi intraseluler. Sementara Purwoko (2007) menjelaskan bahwa pada fase ini bakteri berada dalam fase adaptasi terhadap media baru. Pada fase adaptasi tidak dijumpai pertambahan jumlah sel. Proses adaptasi meliputi sintesis enzim yang sesuai dengan media tumbuh serta pemulihan metabolit.

- b. Fase Pertumbuhan Eksponensial (*logarithmic phase*)  
Pada fase eksponensial, sel-sel bakteri mengalami proses pembelahan diri dengan laju yang sesuai dengan kemampuan bakteri dalam menyerap nutrisi dari lingkungan. Populasi bakteri bertambah dengan laju pertumbuhan maksimum dan berlipat ganda sebagai fungsi dari waktu generasinya. Menurut Trihadiningrum (2012), pada fase ini massa sel tumbuh menjadi dua kali lipat dan aktifitas metabolik konstan. Fase ini disebut juga sebagai fase pertumbuhan seimbang. Dwidjuseputro (1998) menjelaskan bahwa bakteri yang berada dalam fase ini baik sekali untuk dijadikan sebagai inokulum.
- c. Fase Pertumbuhan Stasioner (*stationary phase*)  
Fase pertumbuhan stasioner terjadi ditandai dengan terhentinya pertumbuhan dari sel-sel mikroorganisme. Karena pertumbuhan tergantung dari kadar substrat, maka kecepatan pertumbuhan akan menurun seiring dengan menurunnya kadar substrat. Dengan demikian pengalihan dari fase eksponensial ke fase stasioner terjadi secara berangsur-angsur. Selama energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan sel masih dapat diperoleh dengan respirasi bahan simpanan dan protein, bakteri masih mampu mempertahankan hidup untuk masa yang panjang. Hal ini sejalan dengan Trihadiningrum (2012) yang menyatakan bahwa pada fase ini laju pertumbuhan mikroorganisme relatif konstan.
- d. Fase Kematian (*death phase*)  
Fase kematian ditandai dengan berkurangnya jumlah sel hidup (*viabel*) dalam media akibat terjadinya kematian (*mortalitas*). Jumlah sel-sel hidup dapat berkurang secara eksponensial. Hal ini disebabkan karena tidak adanya substrat yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri atau karena akumulasi produk samping metabolisme yang bersifat toksik. Purwoko (2007) menjelaskan bahwa penyebab utama kematian adalah autolisis sel dan penurunan energi. Beberapa

bakteri hanya dapat bertahan dalam hitungan jam atau hari selama fase statis dan akhirnya masuk ke dalam fase kematian.



Gambar 2.3 Kurva Laju Pertumbuhan Mikroorganisme  
Sumber : Sarbini, (2012)

## 2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri terdiri atas substrat, temperatur, derajat keasaman (pH), dan oksigen.

### a. Substrat

Semua bakteri membutuhkan substrat sebagai sumber karbon dan energi. Karbon diperlukan untuk proses pertumbuhan sel dan reproduksi. Sumber karbon dari bakteri adalah senyawa organik seperti glukosa, selulosa, dan pati. Berdasarkan Hidayat dan Kardena (2013), perbandingan C:N:P (karbon:nitrogen:fosfor) sebesar 100:10:1 merupakan penambahan nutrisi optimum bagi bakteri untuk penyisihan senyawa organik pada air limbah. Bakteri juga memerlukan mineral dan zat pelengkap lainnya yang disebut

dengan suplemen. Mineral yang dibutuhkan antara lain mangan, seng, tembaga, dan molibden. Sedangkan zat pelengkap terdiri dari 3 (tiga) kelompok zat, yaitu asam-asam amino, senyawa purin, dan senyawa pirimidin (Sarhini, 2012).

b. Temperatur

Salah satu parameter fisik yang dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri adalah temperatur atau suhu. Setiap mikroorganisme hanya dapat tumbuh pada temperatur dengan rentang tertentu. Banyak reaksi kimia di dalam metabolisme bakteri yang dipengaruhi oleh panas, sehingga semakin tinggi temperatur maka semakin baik reaksi kimia terjadi. Namun akan ada saatnya temperatur dapat mengubah struktur enzim sehingga menyebabkan menurunnya aktivitas bakteri. Temperatur ini disebut temperatur maksimum dimana bakteri dapat hidup dan beraktivitas (Sarhini, 2012). Hal tersebut sejalan dengan Ayuti (2016) yang menyatakan bahwa temperatur mampu mempengaruhi mikroorganisme dalam dua cara yang berlawanan. Apabila suhu naik maka kecepatan metabolisme akan naik dan pertumbuhan dipercepat. Sebaliknya, apabila suhu turun maka kecepatan metabolisme juga akan menurun dan mengakibatkan pertumbuhan menjadi lambat. Sementara menurut Trihadiningrum (2012), mikroorganisme dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan berdasarkan suhu yaitu:

- Psikrofil, dapat tumbuh pada suhu sekitar 0°C atau lebih rendah.
- Mesofil, dapat tumbuh dengan baik pada suhu sekitar 25-40°C.
- Termofil, dapat tumbuh dengan baik pada suhu sekitar 45-60°C. Spesies termofil yang tumbuh baik pada suhu mesofil disebut sebagai bakteri euritermofil atau termofil fakultatif. Sedangkan kelompok bakteri yang hanya dapat tumbuh dengan baik pada suhu diatas 60°C disebut stenotermofil atau termofil obligat.

- c. Derajat Keasaman (pH)  
Derajat keasaman (pH) mempengaruhi kemampuan mikroorganisme untuk mengadakan transpor membran sel dan kesetimbangan dari reaksi katalis. Kebanyakan bakteri tumbuh dengan subur pada pH netral. Pada umumnya pH harus mendekati 7,0 dengan rentang 4 hingga 10 agar bakteri dapat tumbuh. pH yang terdapat pada lingkungan tidak sepenuhnya disebabkan oleh aktivitas bakteri tetapi juga adanya garam anorganik dalam tanah dan air mineral (Sarhini, 2012). Laju pertumbuhan bakteri yang bersifat autotrofik lebih lambat jika dibandingkan dengan bakteri heterotrofik. Derajat keasaman merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan serta aktivitas bakteri pengoksidasi amonia (Esoy *et al.*, 1998). Bakteri heterotrofik lebih toleran terhadap lingkungan asam, dan tumbuh lebih cepat dengan hasil yang lebih tinggi pada kondisi dengan konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) yang rendah (Zhao *et al.*, 1999).
- d. Oksigen  
Bakteri aerob memerlukan oksigen untuk dua tujuan, tujuan utama adalah sebagai sumber akseptor elektron untuk sistem transpor elektron. Sedangkan tujuan lain adalah untuk reaksi enzim tertentu. Oksidasi dari hidrokarbon membutuhkan oksigen. Bakteri yang hidup tanpa oksigen tidak dapat mendegradasi hidrokarbon (Sarhini, 2012). Menurut Puspitasari (2012), bakteri aerob merupakan bakteri yang membutuhkan oksigen untuk pertumbuhan. Sistem enzimnya membutuhkan oksigen sebagai elektron akseptor pada proses fosforilasi oksidatifnya. Contoh bakteri aerob antara lain *Bacillus sp.*, *Escherichia coli*, dan *Streptococcus*.

## 2.10 Mekanisme Penyisihan Aluminium oleh Bakteri

Berdasarkan Pina and Cervantes (1996), dalam beberapa tahun terakhir aluminium telah diakui sebagai masalah polusi serius yang berkaitan dengan pengasaman tanah dan air. Bioavailabilitas aluminium sangat dipengaruhi

oleh faktor lingkungan seperti pH. Bioavailabilitas didefinisikan sebagai kemampuan aluminium untuk dapat diserap oleh makhluk hidup dan menimbulkan adanya respon. Dalam larutan dengan pH lebih rendah dari 5,0 sebagian besar Al berada sebagai  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  atau  $\text{Al}^{3+}$ . Pada kondisi asam ion  $\text{Al}^{3+}$  dapat diserap atau diakumulasi oleh mikroorganisme. Ketika larutan menjadi lebih basa, deprotonasi kompleks ini akan menghasilkan secara berturut-turut  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  dan presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Bruce *et al.* (1998), menemukan bahwa tanah dengan pH 5,8 memiliki konsentrasi  $\text{Al}^{3+}$  sebesar 6,3  $\mu\text{M}$ . Menurunkan pH ke level 4,77 akan meningkatkan jumlah  $\text{Al}^{3+}$  menjadi 700  $\mu\text{M}$ . Sedangkan meningkatkan pH menjadi 6,22 akan mengurangi konsentrasi  $\text{Al}^{3+}$  menjadi 5  $\mu\text{M}$ .

Ratnawati *et al.* (2010), menyatakan bahwa mekanisme penyisihan logam berat terdiri atas pengkapan pasif (*passive uptake*) dan penangkapan aktif (*active uptake*). Pada penangkapan pasif terdapat dua mekanisme yakni pertukaran ion dan pembentukan kompleks ion. Pertukaran ion terjadi dimana ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg, dan Ca di dinding sel digantikan oleh ion logam berat. Sementara pembentukan kompleks ion terjadi antara ion logam berat dan gugus fungsional dinding sel seperti *carbonyl*, *amino*, *thiol*, *hydroxy*, *phosphate*, dan *hydroxy-carboxyl*. Proses bolak-balik ikatan logam berat pada permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa. Mekanisme penangkapan aktif terjadi karena konsumsi ion logam oleh mikroorganisme. Dimana ion logam tersebut dibutuhkan dalam proses pertumbuhan mikroorganisme atau adanya akumulasi intraseluler. Namun untuk aluminium bukanlah termasuk dalam jenis logam yang memiliki fungsi biologis pada mikroorganisme dan bersifat toksik (Silver, 1983).

## **2.11 Uji Analisis Variansi ANOVA**

Analisis varians ANOVA adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Dalam literatur Indonesia metode ini dikenal sebagai analisis

ragam, sidik ragam, atau analisis variansi. Analisis variansi pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, Bapak Statistika Modern. *Analysis of variance* atau ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariasi yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya (Ghozali, 2009 dalam Prizeyanto, 2015).

Analisis varian dilakukan untuk menganalisis data yang berasal dari berbagai macam dan jenis penelitian. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan kelompok-kelompok sampel yang diamati (Prizeyanto, 2015). ANOVA merupakan teknik statistik yang memungkinkan kita untuk mengetahui apakah dua atau lebih mean populasi akan bernilai sama dengan menggunakan data dari sampel masing-masing populasi. *One way* ANOVA memperhitungkan satu faktor yang menyebabkan adanya variasi sementara *two way* ANOVA memperhitungkan dua faktor variasi. Uji ANOVA digunakan pada penelitian ini untuk membandingkan hasil perlakuan (*treatment*) setiap populasi pada masing-masing perlakuan yang berbeda. Perlakuan yang berbeda disebabkan adanya variabel yakni variasi penambahan konsentrasi pencemar aluminium dan volume penambahan bakteri *V. alginolyticus* sehingga dapat dikelompokkan setiap populasi tersebut didalam suatu kriteria tertentu.

## **2.12 Penelitian Terdahulu**

Menurut Singh *et al.* (2014), bioremediasi merupakan alternatif proses degradasi yang memanfaatkan aktivitas biologis. Terdapat beberapa jenis mikroorganisme yang dapat melakukan biodegradasi pada berbagai kondisi lingkungan berbeda. Diantaranya *Acinethobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Mycrobacterium*, *Nitrosomonas*, dan *Pseudomonas*. Setiap jenis mikroorganisme memiliki kemampuan degradasi polutan yang berbeda-beda. Peranan organisme dalam menyingkahkan aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Peranan Organisme yang Dapat Menyisihkan Aluminium

NO	Jenis Organisme	Konsentrasi Aluminium	Media Uji	Efisiensi Penyisihan (%)
1	<i>Scutellospora reticulata</i> (fungi)	50 dan 100 mg/kg tanah	Media Tanah	92,8-94,3%
2	<i>Glomus pansihalos</i> (fungi)	50 dan 100 mg/kg tanah	Media Tanah	92,5-93,9%
3	<i>Dunaliella salina</i> (alga)	0, 500, 1000, 2000, 3000, dan 400 $\mu$ M	Media Cair	Mencapai 90%
4	<i>Dunaliella bardawil</i> (alga)	0, 500, 1000, 2000, 3000, dan 400 $\mu$ M	Media Cair	Mencapai 90%
5	<i>Trichoderma asperellum</i> BHU216 (fungi)	100 mg/L $AlCl_3 \cdot H_2O$	Larutan $AlCl_3 \cdot H_2O$	60-80%
6	<i>Bacillus sp. An 3</i> (bacteria)	0, 100, dan 200 ppm	<i>Lysogeny Broth</i>	25-44,5%
7	<i>Bacillus safensis</i> (bacteria)	50, 100, 150, dan 200 mg/L	Air suling	80–90%
8	<i>Burkholderia sp</i> (bacteria)	27, 54, 108, 162, 216 mg/L	Media Tanah	74,4- 97,7%
9	<i>Pseudomonas putida</i> (bacteria)	100 nmol/MI $AlCl_3$	Larutan HCl dan Buffer	90%
10	<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> , <i>Proteus sp</i> , dan <i>Ralstonia sp</i>	0,48, 0,90, 1,30 mM $Al^{3+}$	Media Cair	78%
11	<i>Vibrio alginolyticus</i> dan <i>Brochothrix thermospacta</i>	0, 50, 100, 500, 1000, 5000 mg/L	Laktose Broth	59,7%

Berdasarkan Tabel 2.3 telah diuraikan jenis organisme yang dapat menyisihkan aluminium berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Menurut Alori dan Fawole (2012), spesies *Scutellospora reticulata* mampu menurunkan kandungan

aluminium 50 dan 100 mg/kg tanah menjadi 3,56 dan 5,69 mg/kg tanah. Sementara spesies *Glomus pansihalos* mampu menurunkan aluminium hingga mencapai 3,76 dan 6,09 mg/kg tanah. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Newsham *et al.* (1995) yang mengatakan bahwa kelompok jamur *Mikoriza arbuskula* mampu menyisihkan Al. Berdasarkan percobaan oleh Akbarzadeh dan Sahriati (2014) ditemukan bahwa alga juga mampu menyisihkan kandungan aluminium pada media. Spesies *Dunaliella bardawil* dari famili *Chlorophyceae* mampu mengendapkan seluruh aluminium pada konsentrasi 8000  $\mu\text{M}$  pada media cair. Kombinasi bakteri *Desulfovibrio desulfuricans*, *Proteus sp*, dan *Ralstonia sp* dapat menyisihkan aluminium pada konsentrasi  $\text{Al}^{3+}$  173 mg/L setelah 27 hari inkubasi (Martins *et al.*, 2012). Studi menunjukkan bahwa *Pseudomonas putida* mampu mengadsorpsi aluminium hingga mencapai 90% setiap siklusnya. Proses adsorpsi berjalan cepat, stabil terhadap waktu, efisien, dan tidak terhambat oleh adanya ion (Boeris *et al.*, 2016). Sementara itu isolat bakteri tanah liat dari pegunungan Chingking China, mampu menyisihkan aluminium hingga 97,7% pada konsentrasi  $\text{Al}^{3+}$  54 mg/L (Shoucheng *et al.*, 2017). Hasil penelitian Kuniawan (2017) mengungkapkan bahwa bakteri *V.alginolyticus* mampu bertahan pada media *Laktose Broth* (LB) mengandung aluminium hingga konsentrasi mencapai 325 mg/L dan mampu menyisihkan Al hingga 59,72% dalam kondisi asam.

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

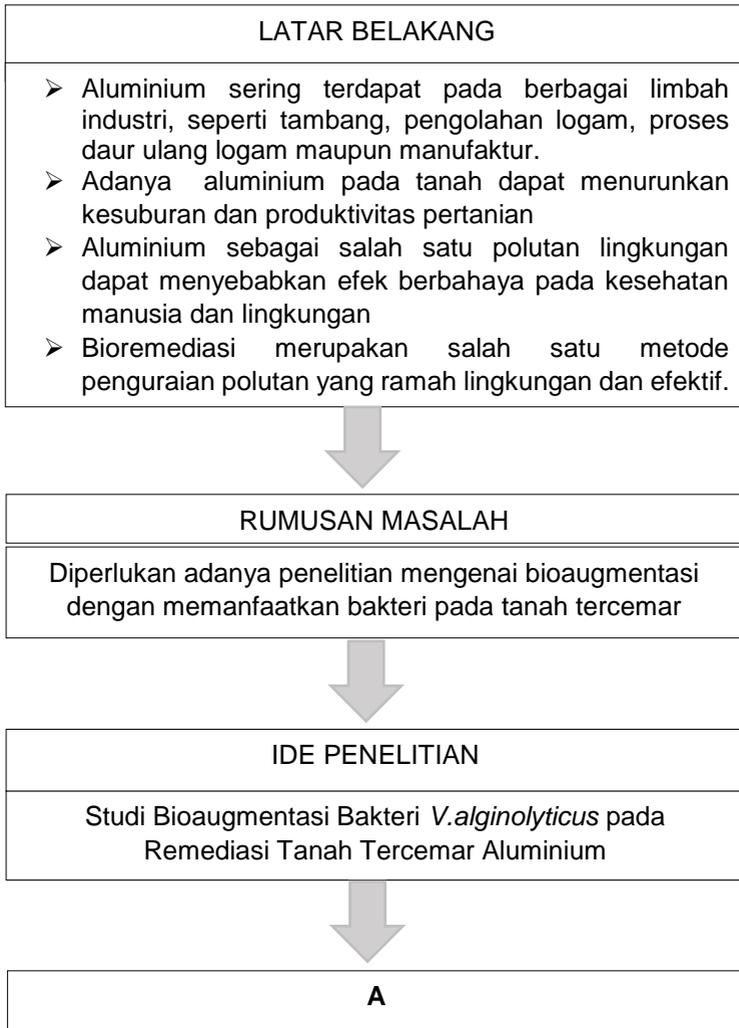
### **3.1 Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian merupakan gambaran awal bagaimana sebuah penelitian dilaksanakan. Tujuan adanya kerangka penelitian diantaranya untuk memudahkan penulis dalam memahami langkah-langkah yang harus dilakukan. Dengan adanya kerangka penelitian, maka penulis dapat melakukan penelitian secara terstruktur dan sistematis. Terstruktur berarti penelitian yang akan dilakukan telah disusun sesuai dengan urutan kegiatan. Sistematis berarti penelitian tersebut disusun dengan mengikuti sistematika sebagaimana sebuah penelitian dilakukan. Gambaran awal penelitian ini juga akan membantu pembaca dalam memahami langkah-langkah penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Penelitian ini menganalisis pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada media tanah tercemar aluminium dan efisiensi penyisihan yang dapat terjadi. Parameter yang diuji antara lain suhu, kelembapan, pH media tanah, total aluminium, dan jumlah koloni bakteri. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi volume penambahan bakteri pada media tanah dan variasi konsentrasi pencemar Al. Isolat bakteri yang digunakan pada penelitian ini merupakan isolat bakteri yang berasal dari area industri daur ulang aluminium. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dan bertempat di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS. Berdasarkan uraian di atas maka dapat dilihat kerangka penelitian pada Gambar 3.1.

### **3.2 Ide Penelitian**

Aluminium (Al) tergolong dalam logam berat dan salah satu logam dengan jumlah berlimpah di kerak bumi yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Akbarzadeh, 2014). Menurut Ozdemir (2003), aluminium merupakan salah satu polutan lingkungan yang sering terdapat pada limbah industri, seperti tambang, pengolahan logam, maupun manufaktur.



**A**



## STUDI LITERATUR

- Karakteristik dan Manfaat Aluminium
- Dampak Aluminium Terhadap Kesehatan dan Lingkungan
- Bioremediasi
- Bioaugmentasi
- Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi dan Bioaugmentasi
- Bakteri *V. Alginolyticus*
- Pertumbuhan Mikroorganisme
- Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme
- Penelitian Terdahulu

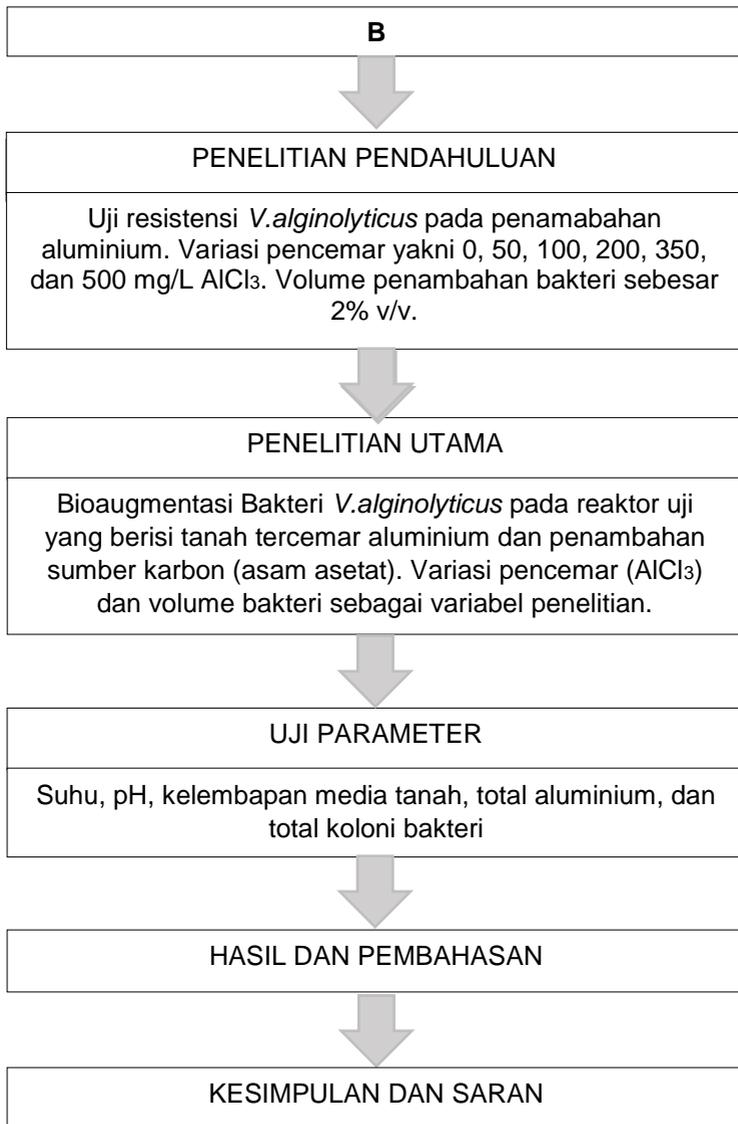


## PERSIAPAN PENELITIAN

- Pembuatan Media (*Nutrient Agar (NA)*, *Nutrient Broth (NB)*, larutan fisiologis, larutan  $AlCl_3$ )
- Sterilisasi Alat dan Bahan Penelitian
- Persiapan Tanah dan Uji Karakteristik Tanah
- Uji Bulk Density dan Kapasitas Retensi Tanah
- Uji Kandungan C, N, dan P Tanah
- Peremajaan Isolat Bakteri



**B**



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Meskipun aluminium bukan merupakan polutan umum pada golongan logam, namun keberadaannya dapat menimbulkan efek berbahaya bagi makhluk hidup dan ekosistem (Boeris, 2016).

Penelitian ini membahas tentang bioremediasi aluminium dengan menggunakan metode bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada media tanah. Menurut Puspitasari (2016), bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik atau polutan anorganik dengan menggunakan organisme (bakteri, fungi, tanaman, atau enzimnya). Kelebihan teknologi ini ditinjau dari aspek komersil adalah relatif lebih ramah lingkungan, biaya penanganan relatif lebih murah dan bersifat fleksibel. Bakteri *V.alginolyticus* yang digunakan merupakan isolat bakteri yang telah terbukti resisten terhadap aluminium. Isolat bakteri didapatkan dari area industri daur ulang aluminium di Kota Jombang. Penambahan isolat bakteri (bioaugmentasi) pada media tanah menjadi metode yang digunakan dalam penelitian ini. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi larutan pencemar Al dan variasi volume penambahan bakteri. Selama penelitian berlangsung, akan dilakukan uji parameter terhadap media tanah meliputi suhu, kelembapan, pH, total aluminium, dan jumlah koloni bakteri.

### **3.3 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dari sebuah penelitian. Studi literatur diperlukan untuk memberikan pengetahuan serta kejelasan terhadap topik penelitian. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini bersumber dari buku, jurnal penelitian nasional maupun internasional, *review* jurnal, *paper*, seminar, dan tugas akhir yang berhubungan. Literatur yang dicantumkan pada penelitian ini antara lain sifat dan karakteristik aluminium, bioremediasi, bioaugmentasi, laju pertumbuhan bakteri, faktor-faktor yang mempengaruhi bioremediasi dan bioaugmentasi, karakteristik bakteri *V.alginolyticus*, dan penelitian terdahulu mengenai topik penelitian ini.

### 3.4 Persiapan Penelitian

- a. Pembuatan Media Nutrient Agar (NA)

Pada pembuatan 1 liter media NA membutuhkan 20 gram serbuk NA. Langkah awal yang dilakukan adalah menimbang serbuk NA pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkan serbuk NA pada aquades 1 L 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 cokelat untuk proses sterilisasi pada *autoclave* selama  $\pm 60$  menit pada suhu  $121^{\circ}\text{C}$ . Media NA digunakan untuk proses peremajaan isolat bakteri.
- b. Pembuatan Media Nutrient Broth (NB)

Pada pembuatan 1 liter media NB membutuhkan 8 gram serbuk NB. Pembuatan media diawali dengan menimbang serbuk NB pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkan serbuk NB pada aquades dan mengaduk menggunakan spatula kaca sesuai dengan kebutuhan. Pengadukan bertujuan untuk mempercepat terciptanya larutan yang homogen. Larutan Nutrien Broth kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL dan dibungkus kertas cokelat untuk proses sterilisasi. Sterilisasi dilakukan menggunakan *autoclave* selama  $\pm 60$  menit dengan suhu  $121^{\circ}\text{C}$ . Media NB digunakan untuk proses uji bioaugmentasi bakteri.
- c. Pembuatan Media Agar Miring NA  
Media agar miring NA digunakan sebagai tempat pertumbuhan isolat bakteri. Pembuatan agar miring dilakukan dengan memiringkan tabung reaksi yang berisi media NA cair. Kemiringan tabung reaksi dijaga dengan memberikan penyangga pada salah satu sisi tabung reaksi. Setelah didiamkan selama  $\pm 15$  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.

- d. Pembuatan Media Agar Datar NA  
Media agar datar NA digunakan untuk uji jumlah koloni bakteri dengan menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*). Pembuatan media datar dilakukan dengan menuangkan 10 ml media NA cair pada cawan petri. Cawan petri yang digunakan telah melalui proses sterilisasi pada *autoclave*. Proses pemindahan media NA pada cawan petri dilakukan pada kondisi aseptis. Kondisi aseptis diciptakan dengan adanya nyala api yang berasal dari bunsen. Sebelum dan sesudah proses pemindahan larutan NA, cawan petri harus disterilasi dengan mengapi-apikan mulut cawan pada nyala api. Larutan NA pada cawan akan memadat setelah didiamkan  $\pm 15$  menit dan siap digunakan untuk proses inokulasi bakteri.
- e. Pembuatan Larutan Fisiologis  
Larutan fisiologis atau pengencer digunakan untuk mengencerkan sampel yang mengandung mikroba agar dapat mempermudah perhitungan total koloni mikroba. Pada penelitian ini digunakan larutan garam fisiologis 0,85% NaCl. Kebutuhan untuk membuat 1L larutan fisiologis membutuhkan 8,5 gram serbuk NaCl. Langkah awal yang dilakukan adalah menimbang serbuk NaCl pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkan serbuk NaCl pada 1 liter aquades dengan mengaduk menggunakan spatula kaca. Larutan NaCl yang telah homogen kemudian disterilasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1,1 atm.
- f. Pembuatan Larutan Stok Aluminium  
Larutan stok aluminium berfungsi sebagai larutan pencemar yang akan digunakan pada proses bioaugmentasi dan uji resistensi bakteri. Aluminium berfungsi sebagai polutan yang akan disisihkan oleh bakteri *Vibrio*. Pada penelitian ini, dibuat larutan stok

dengan konsentrasi 1000 mg/L. Pembuatan larutan stok diawali dengan menyiapkan  $\text{AlCl}_3$  (Aluminium klorida) menggunakan neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkan aluminium dengan penambahan akuades hingga volume yang diinginkan. Larutan kemudian diaduk agar homogen dan disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu  $121^\circ\text{C}$  dan tekanan 1,1 atm. Tahapan proses pembuatan larutan stok dapat dilihat pada Lampiran 2.

g. Persiapan Media Tanah

Media tanah yang digunakan merupakan tanah taman. Sebelum digunakan, dilakukan proses pengeringan dan pengayakan pada tanah untuk mendapatkan diameter butiran yang seragam (ayakan 60 mesh) berdasarkan Bilalis *et al.* (2013). Pengayakan tanah dilakukan agar larutan pencemar aluminium dapat tercampur secara merata ke seluruh butiran tanah seragam. Pengukuran parameter kimia dilakukan untuk mengetahui kondisi awal tanah yang akan digunakan. Dilakukan juga pengujian kandungan karbon organik, nitrogen, dan fosfor dalam tanah. Hal ini menjadi dasar dalam penambahan nutrisi untuk penelitian utama.

h. Sterilisasi Alat dan Bahan

Setiap alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian utama harus disterilisasi terlebih dahulu. Sterilisasi bertujuan untuk menghilangkan kontaminasi pada alat dan bahan yang digunakan sehingga berada pada keadaan steril. Sterilisasi yang digunakan menggunakan *autoclave* atau metode uap panas pada suhu  $121^\circ\text{C}$  dan tekanan 1,1 atm. Proses sterilisasi berlangsung selama  $\pm 120$  menit. Tujuannya adalah untuk mencegah keluarnya uap air menuju pada alat sterilisasi. Alat yang akan disterilisasi meliputi gelas ukur, cawan petri, dan erlenmeyer. Sementara bahan yang akan disterilisasi meliputi media Nutrient Agar (NA), Nutrient Broth (NB), larutan stok aluminium, dan larutan salinitas.

### **3.5 Uji Kapasitas Retensi dan Densitas Tanah**

Nilai kapasitas retensi tanah mewakili kepadatan dan kerapatan tanah yang akan digunakan. Tujuannya adalah untuk mengetahui kapasitas volume larutan pencemar ( $\text{AICl}_3$ ) yang dapat ditampung agar tanah terkontaminasi polutan AI 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. Nilai kapasitas retensi didapatkan dengan membagi volume air yang ditambahkan hingga tanah dalam kondisi basah terhadap berat tanah. Nilai densitas tanah didapatkan dengan membagi massa tanah terhadap volume tanah pada gelas ukur.

### **3.6 Uji Karakteristik Tanah**

Uji karakteristik tanah yang dilakukan terdiri atas uji kandungan bakteri alamiah, kandungan karbon, nitrogen, fosfor, dan total aluminium pada sampel tanah yang akan digunakan. Kandungan nutrisi tanah diuji untuk mengetahui penambahan nutrisi saat penelitian utama dilakukan. Uji kandungan bakteri alamiah dan total aluminium dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya koloni bakteri alamiah dan kandungan aluminium awal pada tanah.

Menurut Agustiyani *et al.* (2004) bakteri heterotrofik memerlukan substrat organik seperti asetat, piruvat, dan oksaloasetat sebagai sumber karbon. Dimana bakteri akan menunjukkan pertumbuhan dan aktivitas yang lebih baik pada media mengandung asetat. Hal tersebut sejalan dengan Hidayat dan Kardena (2013) menyatakan bahwa persentase C:N:P sebesar 100:10:1 sebagai persentase penambahan nutrisi optimum bagi bakteri untuk proses degradasi senyawa organik. Berdasarkan hasil uji laboratorium, media tanah yang digunakan pada penelitian memiliki rasio C:N:P sebesar 5:1,5:1. Sehingga dilakukan penambahan nutrisi melalui penambahan asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) sebagai sumber karbon *biodegradable* untuk bakteri.

### **3.7 Peremajaan Isolat Bakteri**

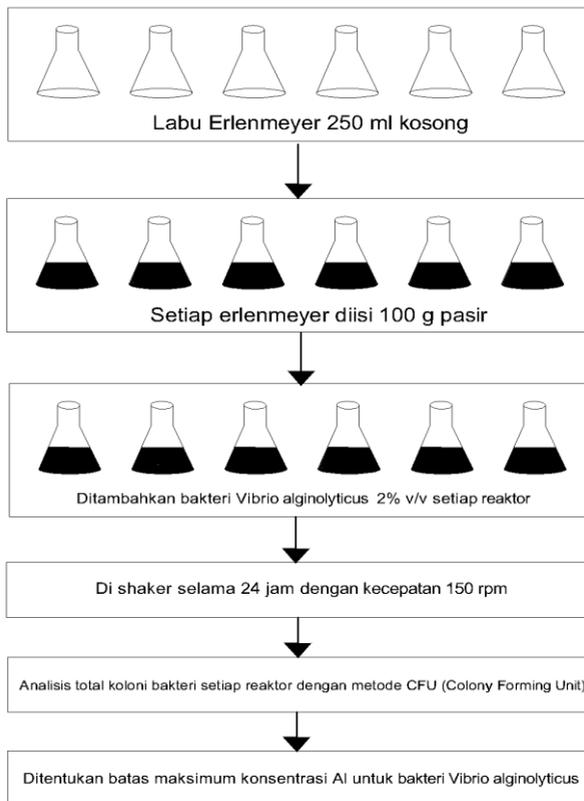
Bakteri yang akan digunakan harus melalui proses peremajaan terlebih dahulu dari bakteri stok. Media yang digunakan adalah Nutrient Agar (NA) yang telah disterilisasi. Metode peremajaan bakteri merujuk pada Machmud (2001) yang telah disesuaikan. Proses peremajaan bakteri berupa inokulasi bakteri *V.alginolyticus* dari media biakan pada media NA. Setelah inokulasi dilakukan, media NA yang berisi bakteri akan diinkubasi pada suhu 37°C. Tahapan proses peremajaan bakteri dapat dilihat pada Lampiran 1.

### **3.8 Uji Resistensi Bakteri *V.alginoyticus* Terhadap Penambahan Aluminium**

Uji resistensi bakteri bertujuan untuk menentukan konsentrasi maksimum aluminium yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri. Hasil pada uji resistensi ini akan digunakan untuk menentukan variasi konsentrasi larutan pencemar Al pada saat proses bioaugmentasi. Uji resistensi bakteri dilakukan dengan menambahkan larutan pencemar Al dengan konsentrasi yang berbeda dan volume penambahan bakteri yang seragam. Volume biakan bakteri *V.alginolyticus* yang akan ditambahkan mengacu pada Kurniawan (2017) sebesar 2% v/v. Variasi konsentrasi Al pada media merujuk pada Kawai (2000) yang telah disesuaikan, yakni 0, 50, 100, 200, 350, dan 500 mg/L. Konversi konsentrasi Al dapat dilakukan dengan mengalikan konsentrasi Al dengan nilai densitas tanah yang digunakan (mg/kg). Dari uji resistensi dapat dilihat pengaruh penambahan pencemar Al terhadap jumlah bakteri yang masih mampu bertahan hidup pada media tanah.

Pada uji resistensi bakteri digunakan reaktor uji berupa labu Erlenmeyer 250 ml. Massa tanah yang digunakan adalah sebesar 100 g untuk setiap reaktor uji. Reaktor uji yang telah berisi biakan bakteri dan tanah tercemar akan di shaker selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm. Analisis total koloni bakteri pada setiap media uji dilakukan sebanyak 2 kali yakni pada jam ke 0 dan 24. Total koloni bakteri pada jam ke-0 mewakili jumlah bakteri awal sebelum dilakukan uji resistensi. Sementara total

koloni bakteri setelah 24 jam mewakili jumlah bakteri yang bertahan terhadap pencemar Al. Konsentrasi aluminium yang menghasilkan tidak adanya pertumbuhan bakteri setelah 24 jam merupakan batas maksimum yang dapat diterima bakteri.



Gambar 3.2 Pelaksanaan Uji Resistensi Bakteri

### 3.9 Penelitian Utama

Penelitian utama yang dilakukan adalah bioaugmentasi atau penambahan isolat bakteri *V.alginolyticus* ke dalam media tanah tercemar aluminium. Bahan yang disiapkan antara lain

media tanah yang telah diayak, larutan stok aluminium, isolat bakteri *V.alginolyticus*, dan reaktor uji. Isolat bakteri yang digunakan telah mengalami proses peremajaan pada media agar (NA). Tujuan dari penelitian utama ini adalah menganalisis pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada media tanah tercemar aluminium dan efisiensi penyisihan aluminium yang dapat terjadi.

Variabel yang digunakan adalah variasi penambahan jumlah bakteri *V.alginolyticus* pada reaktor uji dan variasi konsentrasi larutan pencemar  $AlCl_3$ . Terdapat masing-masing 3 (tiga) variasi penambahan bakteri dan konsentrasi larutan pencemar. Volume penambahan bakteri merujuk pada Kurniawan (2017) yang telah disesuaikan, sebesar 2%, 5%, dan 10% v/v dari kapasitas retensi tanah. Bakteri yang ditambahkan merupakan bakteri *V.alginolyticus* dengan nilai OD sebesar 0,50 (Purwanti *et al.*, 2015). *Optical Density* adalah jumlah cahaya yang dihamburkan dan diserap oleh sel dalam larutan. Sehingga nilai OD dianggap mewakili nilai kekeruhan sampel larutan karena adanya suspensi bakteri. Variasi konsentrasi aluminium sebagai pencemar didapatkan setelah melakukan uji resistensi bakteri *V.alginolyticus*. Pada penelitian ini akan digunakan reaktor uji berupa toples kaca dengan volume 3,5 L. Berdasarkan Kurniawan (2017), nilai pH pada media tanah dikontrol sebesar  $\pm 5,0$  sebagai pH optimum pertumbuhan bakteri *V.alginolyticus*. Perlakuan masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.1.

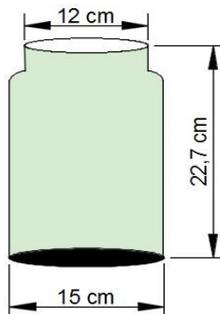
Tabel 3.1 Perlakuan Pada Reaktor Uji Berdasarkan Variabel Penelitian

Volume Penambahan Bakteri (% v/v)	Konsentrasi Aluminium (mg/L)		Kontrol
	C1	C2	
V1	V1C1	V1C2	V1C0
V2	V2C1	V2C2	V2C0
V3	V3C1	V3C2	V3C0
Kontrol	V0C1	V0C2	V0C0

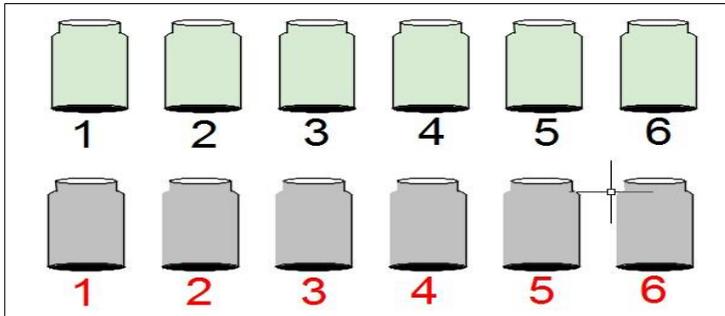
Keterangan:

- V : Volume penambahan bakteri *V.alginolyticus*
- C : Konsentrasi aluminium dalam media tanah
- C0 : Tanpa penambahan  $AlCl_3$
- C1 : Variasi 1 konsentrasi  $AlCl_3$
- C2 : Variasi 2 konsentrasi  $AlCl_3$
- V0 : Tanpa penambahan bakteri
- V1 : Penambahan bakteri 2% v/v
- V2 : Penambahan bakteri 5% v/v
- V3 : Penambahan bakteri 10% v/v

Berdasarkan Tabel 3.1, diperlukan 6 reaktor uji yang berisi media tanah. Massa tanah yang digunakan pada setiap reaktor sebesar  $\pm 2$  kg. Reaktor kontrol tanpa penambahan  $AlCl_3$  berfungsi untuk menganalisis bagaimana pertumbuhan bakteri tanpa adanya pencemar. Reaktor kontrol tanpa penambahan bakteri berfungsi menganalisis pengaruh bakteri alami tanah dengan adanya pencemar  $AlCl_3$ . Reaktor kontrol tanpa penambahan  $AlCl_3$  dan bakteri bertujuan untuk menganalisis pertumbuhan bakteri alamiah tanah pada kondisi tidak tercemar. Reaktor kontrol yang digunakan sebanyak 6 reaktor. Karena penelitian dilakukan secara duplo, maka total reaktor uji yang dibutuhkan berjumlah 12 reaktor uji dan 6 reaktor kontrol. Gambaran reaktor uji yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Dimensi Reaktor Uji yang Digunakan dalam Penelitian



Gambar 3.4 Skema Reaktor Uji dalam Penelitian

Pada proses bioaugmentasi bakteri, dilakukan penambahan sumber karbon yang berguna untuk proses metabolisme bakteri. Hal ini dilakukan karena kandungan C:N:P awal tanah tidak mencapai perbandingan optimum 100:10:1 berdasarkan Hidayat dan Kresna (2013). Sumber karbon yang ditambahkan adalah *C-biodegradable* yang berasal dari asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Selama proses pengamatan, dilakukan pengadukan setiap hari secara manual untuk mensirkulasi udara pada media tanah. Parameter yang diuji pada penelitian ini antara lain total aluminium, total koloni bakteri, pH, suhu, dan kelembapan tanah. Total aluminium dan jumlah koloni bakteri akan dianalisis sebanyak 4 kali, yakni pada hari ke-0, hari ke-4, hari ke-8, dan hari ke-12. Jumlah koloni bakteri dianalisis menggunakan metode CFU sementara total aluminium dianalisis menggunakan metode ICP. Uji parameter fisik tanah yang meliputi suhu, pH, dan kelembapan dilakukan setiap hari selama masa penelitian. Penelitian utama ini akan berlangsung selama 12 hari berdasarkan Chau *et al.* (2014) yang telah disesuaikan. Prosedur uji total koloni bakteri menggunakan metode CFU dapat dilihat pada Lampiran 2.

### 3.10 Hasil dan Pembahasan

Data yang didapatkan dari penelitian utama akan disajikan dan dianalisis pada sub bab ini. Data yang disajikan dapat dalam bentuk tabel, grafik, maupun berupa penjelasan. Analisis yang akan dilakukan terdiri atas:

- a. Analisis Total Koloni Bakteri  
Total koloni bakteri dapat dianalisis setelah melakukan proses bioaugmentasi bakteri pada media uji. Analisis jumlah koloni bakteri *V.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. Analisis koloni bakteri dilakukan sebanyak 4 kali, yakni pada hari ke 0, 4, 8, dan 12 selama 12 hari penelitian.
- b. Analisis Total Aluminium  
Analisis total aluminium dilakukan untuk mengetahui total aluminium pada media uji selama penelitian berlangsung. Penelitian utama ini akan berlangsung selama 12 hari berdasarkan Chau *et al.*, (2014) yang telah disesuaikan. Uji total aluminium dilakukan dengan menggunakan metode ICP pada hari ke 0, 4, 8, dan 12. Sampel tanah diekstraksi menggunakan larutan aqua regia berdasarkan metode destruksi asam. Larutan aqua regia merupakan campuran asam HCl 1N dan HNO<sub>3</sub> 1N yang bersifat korosif dan mampu melarutkan logam. Hasil ekstraksi asam tersebut dibaca pada alat ICP untuk mengetahui konsentrasi Al yang terkandung pada sampel tanah. Dengan adanya analisis tersebut, maka dapat diketahui penurunan total aluminium selama pengujian.
- c. Analisis Parameter Fisik Media Tanah  
Analisis parameter fisik media tanah dilakukan dengan menguji parameter fisik meliputi suhu, kelembapan, dan pH. Pengukuran parameter fisik tersebut dilakukan setiap hari selama masa uji bioaugmentasi dilakukan. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer tanah. Pengukuran kelembapan tanah dilakukan menggunakan *moisture meter* tanah. Pengukuran pH tanah dilakukan menggunakan pH meter tanah.
- d. Analisis Pengaruh Bioaugmentasi Bakteri  
Analisis pengaruh bioaugmentasi merupakan tujuan pertama pada penelitian ini. Pengaruh bioaugmentasi

dianalisis pada setiap variasi konsentrasi larutan pencemar aluminium dan penambahan bakteri yang dilakukan. Pengaruh bioaugmentasi bakteri dianalisis berdasarkan perubahan pada jumlah koloni bakteri, total aluminium, dan karakteristik fisik tanah.

e. Analisis Efisiensi Penyisihan Aluminium oleh Bakteri *V.alginolyticus*

Analisis efisiensi penyisihan aluminium yang dapat dilakukan oleh bakteri *V.alginolyticus* merupakan tujuan kedua pada penelitian ini. Efisiensi penyisihan dianalisis berdasarkan nilai total aluminium pada hari ke 0, 4, 8, dan 12. Total aluminium pada media uji diukur menggunakan metode ICP. Efisiensi penyisihan aluminium menyatakan besarnya aluminium yang tersisihkan dibandingkan dengan total aluminium awal pada media uji.

### 3.11 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan analisis data dan pembahasan. Pengambilan kesimpulan harus dapat menjawab tujuan penelitian yang telah disusun sebelumnya. Kesimpulan dapat dimuat dalam bentuk poin maupun uraian yang dijelaskan secara singkat, padat, dan jelas. Kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan harus dapat menggambarkan pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada media uji dan efisiensi penyisihan aluminium yang terjadi.

Saran diberikan sebagai masukan dari penulis terhadap penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, saran juga bermanfaat untuk mengurangi tingkat kesalahan pada penelitian sejenis. Saran bermanfaat untuk pengembangan penelitian di bidang yang terkait dengan bioaugmentasi bakteri dalam penyisihan aluminium.

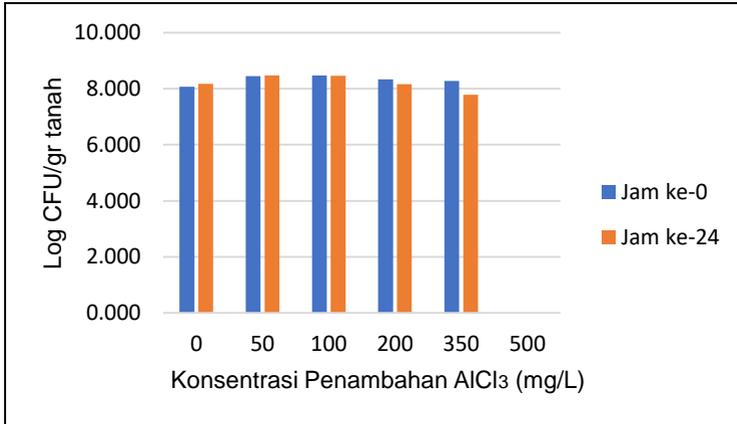
## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Uji Resistensi Bakteri *V.alginolyticus***

Uji resistensi bakteri bertujuan untuk menentukan konsentrasi maksimum aluminium yang dapat ditoleransi oleh *V.alginolyticus* dalam media tanah. Hasil dari uji resistensi ini digunakan untuk menentukan variasi konsentrasi aluminium pada bioaugmentasi *V.alginolyticus* untuk remediasi tanah tercemar. Media yang digunakan berupa 100 g tanah dengan penambahan Al sebesar 0, 50, 100, 200, 350, dan 500 mg/L berdasarkan Kawai (2000) yang telah disesuaikan. Konsentrasi aluminium yang ditambahkan sebanding dengan 0, 24, 47, 94, 165, dan 235 mg/kg tanah. Penambahan bakteri *V.alginolyticus* pada tiap reaktor adalah seragam, yakni sebesar 2% v/v dari nilai kapasitas retensi tanah yang digunakan. Hal tersebut merujuk pada Kurniawan (2018) yang menyatakan bahwa volume bakteri 2% v/v sebagai volume penambahan efektif dalam menyisihkan aluminium pada media cair. Reaktor yang digunakan pada uji resistensi ini berupa erlenmeyer 250 ml (Pyrex, Jerman) sebanyak 6 (enam) buah.

Reaktor uji yang telah berisi tanah tercemar dan bakteri dishaker selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm. Dari uji resistensi ini dapat dilihat pengaruh penambahan pencemar Al dengan melakukan analisa total koloni bakteri pada jam ke-0 dan jam ke-24. Hasil analisa koloni bakteri pada jam ke-0 mewakili jumlah bakteri yang ada pada tanah tercemar saat akan memulai uji resistensi. Sementara koloni bakteri pada jam ke-24 mewakili jumlah bakteri yang mampu bertahan hidup pada tiap konsentrasi Al yang diberikan. Analisis total koloni bakteri dilakukan dengan menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*) pada pengenceran bertingkat larutan fisiologis (NaCl) dan media agar datar NA. Adapun hasil perhitungan dan pengamatan koloni bakteri pada setiap reaktor dalam uji resistensi ini dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5.



Gambar 4.1 Log Jumlah Koloni Bakteri *V.alginolyticus* Pada Uji Resistensi Bakteri

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat total koloni bakteri yang ada pada masing-masing reaktor pada jam ke-0 dan jam ke-24. Dapat dilihat bahwa log jumlah koloni bakteri pada jam ke-0 pada reaktor dengan penambahan 0, 50, 100, 200, 350 mg/L secara berurutan sebesar 8,068, 8,450, 8,468, 8,328, dan 8,282. Nilai tersebut berasal dari penambahan isolat *V.alginolyticus* yang dilakukan dengan jumlah yang seragam (2% v/v). Reaktor kontrol tanpa penambahan Al (0 mg/L) menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri *V.alginolyticus* pada tanah tercemar. Nilai log koloni bakteri meningkat dari 8,068 menjadi 8,173 setelah 24 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri dapat tumbuh pada keadaan tidak tercemar. Peningkatan koloni bakteri juga terjadi pada reaktor dengan penambahan Al sebesar 50 mg/L. Dimana terjadi peningkatan log jumlah koloni bakteri dari 8,450 menjadi 8,473 yang menandakan adanya peningkatan koloni bakteri. Peningkatan koloni bakteri terjadi dikarenakan bakteri masih mampu melakukan pertumbuhan dan metabolisme pada penambahan 50 mg/L AlCl<sub>3</sub>. Dimana peningkatan koloni bakteri masih lebih kecil jika dibandingkan dengan reaktor kontrol.

Penurunan log total koloni bakteri terjadi pada reaktor dengan penambahan Al sebesar 100, 200, dan 350 mg/L setelah 24 jam. Pada reaktor dengan penambahan 100 mg/L, log total koloni berkurang sebesar 0,006. Penurunan koloni bakteri yang lebih besar terjadi pada reaktor dengan penambahan 200 mg/L Al. Log jumlah koloni bakteri *V.alginolyticus* menurun menjadi 8,167 dari nilai awal sebesar 8,328 atau menurun sebesar 1,9%. Penurunan jumlah koloni terbesar terjadi pada reaktor dengan penambahan 350 mg/L Al. Penurunan log total koloni bakteri mencapai 0,504 atau sebesar 6,1%. Hal tersebut sejalan dengan Martins *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa toksisitas dari aluminium mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Dari ketiga reaktor tersebut, diketahui bahwa pada penambahan 100 mg/L  $AlCl_3$  telah mampu menghambat pertumbuhan bakteri *V.alginolyticus* dibuktikan dengan penurunan koloni bakteri pada reaktor. Dimana semakin besar konsentrasi penambahan Al maka semakin besar penurunan jumlah koloni bakteri pada reaktor.

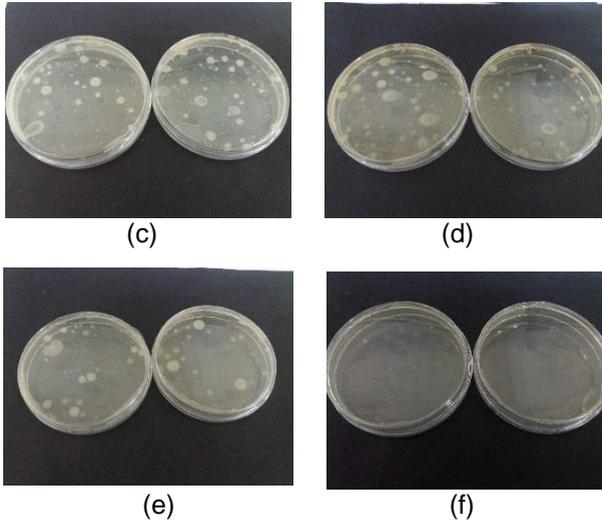
Pertumbuhan koloni bakteri *V.alginolyticus* pada media agar datar NA menunjukkan ciri fisik yang berbeda pada reaktor uji dengan penambahan pencemar 500 mg/L. Berdasarkan analisa koloni bakteri, didapatkan pada jam ke-0 dan ke-24 tidak terdapat koloni bakteri yang tumbuh pada media datar NA. Hal ini menunjukkan bahwa pada jam ke-0 tidak terdapat bakteri yang hidup pada media tanah tercemar. Hal tersebut menandakan bahwa pada konsentrasi 500 mg/L Al yang ditambahkan, telah mampu menghambat pertumbuhan bakteri sejak awal penambahan dilakukan (jam ke-0). Penambahan 500 mg/L  $AlCl_3$  merupakan konsentrasi maksimum dimana bakteri uji tidak dapat melakukan metabolisme sama sekali.



(a)



(b)



Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Bakteri Pada Jam ke-24 (a) 0 mg/L (b) 50 mg/L (c) 100 mg/L (d) 200 mg/L (e) 350 mg/L (f) 500 mg/L

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat koloni bakteri *V.alginolyticus* pada tiap variasi penambahan aluminium. Koloni bakteri yang muncul memiliki ciri-ciri fisik yakni berwarna kekuningan, tebal, dan berbentuk bulat. Ciri-ciri fisik tersebut memiliki ciri fisik yang sama dengan bakteri *V.alginolyticus*. Berdasarkan Mustapha *et al.* (2013) menyatakan bahwa koloni *V.alginolyticus* berwarna kekuningan, berbentuk lingkaran dengan bagian tepi rata, serta sedikit cembung. Koloni yang tumbuh pada tiap reaktor menandakan bahwa bakteri masih mampu beradaptasi dan melakukan pertumbuhan pada keadaan tercemar. Hal tersebut sejalan dengan Kurniawan (2018), yang menyatakan bahwa isolat bakteri *V.alginolyticus* dari kawasan Industri Daur Ulang Aluminium, Kota Jombang, Jawa Timur dapat hidup dan bersifat resisten pada tanah tercemar Al. Namun pada reaktor dengan penambahan 500 mg/l Al, tidak terdapat koloni yang tumbuh setelah 24 jam.

Hasil dari uji resistensi bakteri *V.alginolyticus* yang telah dilakukan akan digunakan untuk menentukan variasi konsentrasi pada penelitian selanjutnya. Data hasil uji resistensi bakteri diolah menggunakan metode statistik ANOVA pada *software* Minitab 16. Pengolahan data secara statistik tersebut diperlukan untuk menentukan 2 (dua) konsentrasi Al yang menunjukkan perbedaan tidak signifikan terhadap reaktor kontrol sehingga dapat digunakan pada penelitian selanjutnya. Reaktor kontrol pada uji resistensi ini merupakan reaktor tanpa penambahan aluminium (0 mg/L). Reaktor yang memiliki perbedaan tidak signifikan dengan reaktor kontrol menunjukkan bahwa bakteri memiliki pola pertumbuhan yang sama dengan bakteri yang ada pada reaktor kontrol. Sehingga pada tahap bioaugmentasi diharapkan bakteri *V.alginolyticus* mampu bertahan dan tumbuh untuk melakukan proses remediasi Al. Hasil analisa statistik ANOVA dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Grouping Information Using Tukey Method			
Konsentrasi Aluminium (mg/L)			
(mg/L)	N	Mean	Grouping
0	2	32,00	A
50	2	15,00	A
100	2	-7,50	A
200	2	-66,00	B
350	2	-131,50	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 4.3 Hasil Analisa Statistik ANOVA Uji Resistensi Bakteri pada Minitab 16

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat hasil analisa statistik konsentrasi penambahan aluminium (mg/L) terhadap pertumbuhan koloni bakteri. Metode yang digunakan adalah Tukey atau *Honestly Significance Difference* (HSD). Metode Tukey digunakan untuk membandingkan data hasil analisis dan menentukan ada tidaknya perbedaan antar perlakuan. Reaktor kontrol dengan penambahan 0 mg/L Al berada dalam satu grup

dengan reaktor pada penambahan 50 dan 100 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa reaktor 50 dan 100 mg/L tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan reaktor kontrol. Pola pertumbuhan bakteri menunjukkan kecenderungan yang sama pada konsentrasi penambahan 0, 50, dan 100 mg/L. Sementara reaktor 200 dan 350 mg/L masing-masing berada pada grup B dan C yang berarti memiliki perbedaan nyata terhadap reaktor kontrol. Hasil uji statistik ANOVA menyatakan bahwa penambahan konsentrasi  $\text{AlCl}_3$  berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan koloni *V.alginolyticus* pada media agar datar NA ( $p < 0,05$ ).

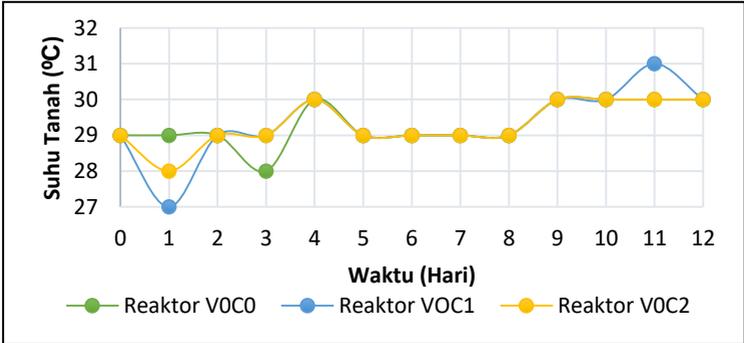
Berdasarkan uji resistensi bakteri yang dilakukan, didapatkan bahwa *V.alginolyticus* bersifat resisten hingga penambahan 50 mg/L  $\text{AlCl}_3$ . Uji statistik menggunakan ANOVA dengan metode uji lanjut Tukey (95,0% selang kepercayaan) menunjukkan bahwa pada penambahan 50 dan 100 mg/L  $\text{AlCl}_3$  memiliki pertumbuhan bakteri yang tidak berbeda nyata terhadap reaktor kontrol (0 mg/L). Sehingga penambahan 50 dan 100 mg/L  $\text{AlCl}_3$  atau setara dengan 24 dan 47 mg/kg tanah dipilih sebagai variasi penambahan konsentrasi pada uji bioaugmentasi *V.alginolyticus*.

#### **4.2 Bioaugmentasi *V.alginolyticus* Pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium**

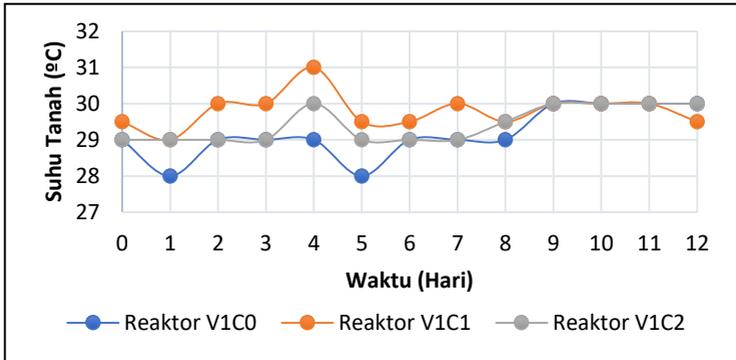
Penelitian yang dilakukan berupa bioaugmentasi atau penambahan *V.alginolyticus* pada remediasi tanah tercemar aluminium. Variasi penambahan bakteri yang digunakan sebesar 2%, 5%, dan 10% v/v dari nilai kapasitas retensi tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh bioaugmentasi bakteri *V.alginolyticus* pada media tanah tercemar aluminium dan efisiensi penyisihan aluminium yang dapat terjadi.

##### **4.2.1 Suhu Tanah**

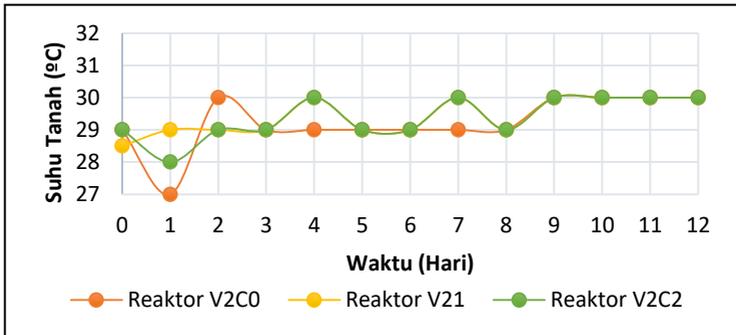
Suhu tanah pada masing-masing reaktor diukur setiap hari selama 12 hari pengujian. Pengukuran suhu menggunakan termometer tanah. Hasil pengukuran suhu pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



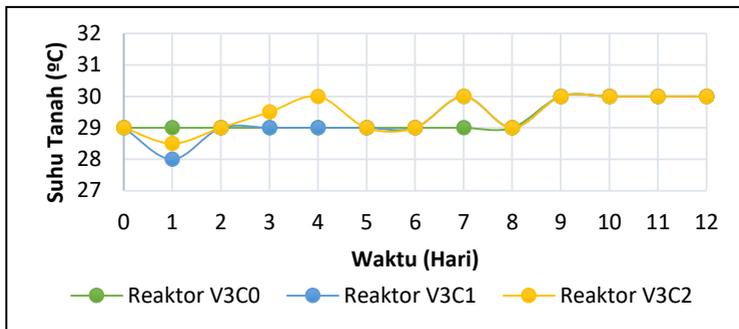
(a)



(b)



(c)



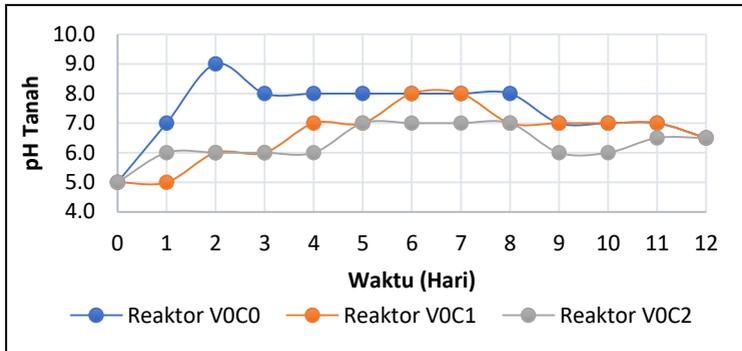
(d)

Gambar 4. 4 Hasil pengukuran suhu tanah pada reaktor selama waktu uji (a) Tanpa penambahan bakteri (b) Penambahan 2% v/v (c) Penambahan 5% v/v (d) Penambahan 10% v/v

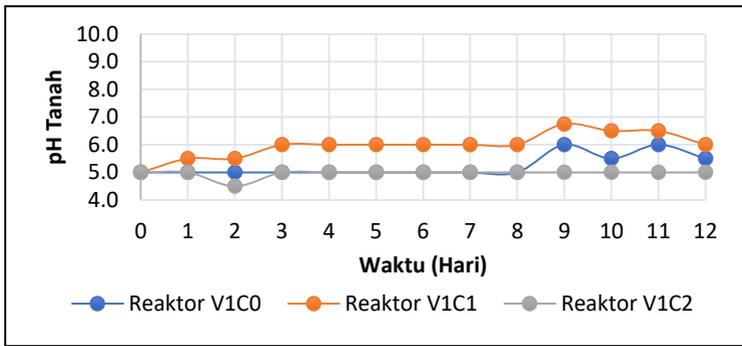
Berdasarkan Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa suhu media tanah berkisar antara 28°C hingga 31°C. Pada awal penelitian (hari ke-0), variasi suhu pada tiap reaktor berkisar antara 28 hingga 29°C. Nilai tersebut mengalami kenaikan yang tidak fluktuatif selama 12 hari. Pada hari terakhir pengamatan (hari ke-12), reaktor dengan penambahan dan tanpa penambahan *V.alginolyticus* mencapai suhu rata-rata 30°C. Berdasarkan Prajitno (2007), suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri *Vibrio* sp berkisar antara 30-35°C, sedangkan pada suhu 4°C dan 45°C bakteri tidak dapat tumbuh. Bakteri *Vibrio* sp akan mati apabila berada pada suhu mencapai 55°C. Hal tersebut menandakan bahwa suhu pada reaktor dengan penambahan bakteri *V.alginolyticus* telah berada pada rentang suhu optimum yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri tersebut.

#### 4.2.2 pH Tanah

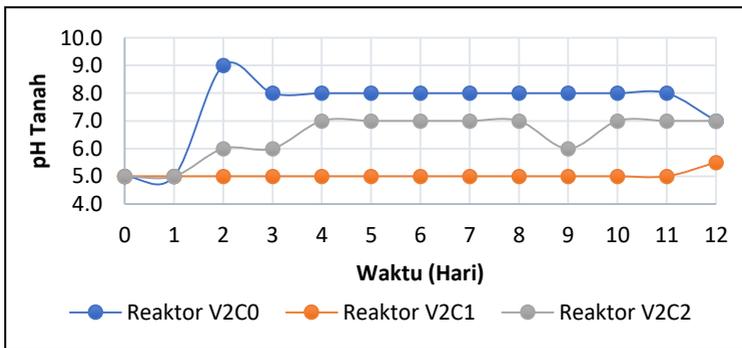
Parameter pH tanah pada masing-masing reaktor diukur setiap hari selama 12 hari pengujian. Pengukuran pH tanah dilakukan menggunakan pH meter khusus untuk tanah. Pada awal pengamatan seluruh reaktor dikondisikan berada pada pH 5,0. Hasil pengukuran pH tanah selama 12 hari pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



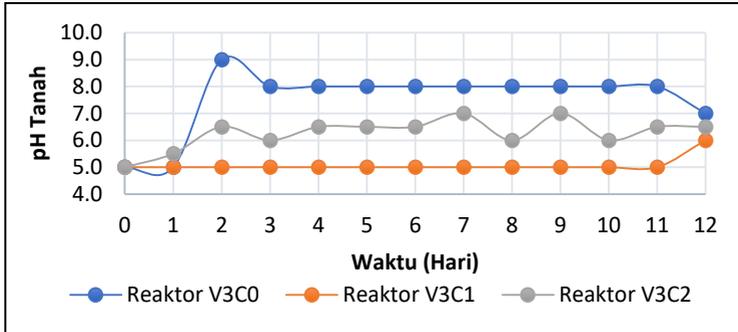
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. 5 Hasil pengukuran pH tanah pada reaktor selama waktu uji (a) Tanpa penambahan bakteri (b) Penambahan 2% v/v (c) Penambahan 5% v/v (d) Penambahan 10% v/v

Berdasarkan Gambar 4.5 (a), dapat dilihat reaktor uji tanpa penambahan bakteri mengalami kenaikan pH hingga berada pada rentang 6,0-8,0. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi reaktor berada dalam pH netral selama proses 12 hari pengamatan. Kenaikan pH tersebut dapat disebabkan oleh terbentuknya H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> sebagai hasil proses degradasi senyawa organik oleh bakteri alamiah tanah. Adanya komponen H<sub>2</sub>O yang dihasilkan akan cenderung meningkatkan pH tanah menuju pada kondisi netral. Hal ini dibuktikan pada akhir pengamatan (hari ke-12), ketiga reaktor uji tanpa penambahan bakteri mengalami kenaikan pH.

pH pada reaktor uji dengan penambahan bakteri juga cenderung meningkat dan berada pada *range* 6,0-7,0 diakhir waktu uji. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya hidrolisis dari penambahan asam asetat dan natrium hidroksida yang membentuk garam dan air. Asam asetat ditambahkan sebagai sumber nutrisi dan NaOH dalam proses *trial error* pH. Hasil dari hidrolisis tersebut cenderung menaikkan nilai pH tanah pada reaktor uji. Setiadi (2007) menyatakan bahwa reaksi dari asam lemah dan basa kuat akan membentuk garam yang bersifat alkali.

Chau *et al.* (2014) menyatakan bahwa bakteri akan mensekresikan senyawa pengkhelet yakni ekstraseluler polisakarida (EPS) dalam keadaan stress. Produksi EPS ini merupakan salah satu strategi bakteri dalam menetralkan efek toksik aluminium. Senyawa pengkhelet tersebut akan terus disekresikan selama pertumbuhan bakteri dan meningkatkan pH lingkungan. Judoamijoyo (1990) dalam Sutanto (2011) juga menyatakan bahwa asam organik dapat digunakan bakteri untuk menghasilkan energi melalui proses biosintesis. Apabila asam organik tersebut digunakan untuk pertumbuhan maka akan meningkatkan pH lingkungan dikarenakan bahan-bahan tersebut akan terdeaminasi. Kenaikan pH selama waktu uji berlangsung juga dapat disebabkan oleh karena penumpukan sel mati bakteri (Gaudy dan Gaudy, 1980). Hal tersebut dibuktikan dengan penurunan jumlah koloni bakteri hidup selama pengujian berlangsung (Subbab 4.2.4)

#### **4.2.3 Kelembapan Tanah**

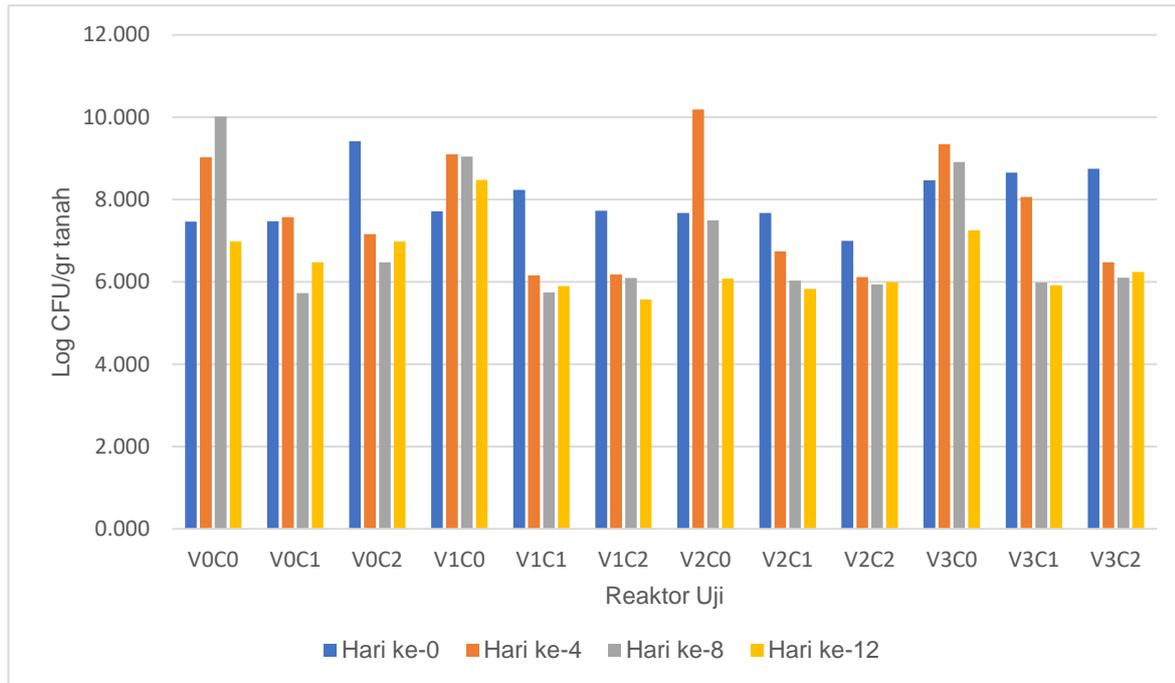
Parameter kelembapan tanah diukur setiap hari selama waktu uji. Pengukuran kelembapan dilakukan menggunakan alat ukur kelembapan tanah. Kelembapan tanah setiap reaktor selama pengamatan berada pada *range* 80-100% dalam kategori wet +. Hal ini dikarenakan adanya penambahan bakteri dan pencemar ( $AlCl_3$ ) hingga mencapai kapasitas retensi tanah. Penambahan asam asetat sebagai sumber karbon bagi bakteri dan NaOH dalam proses *trial error* pH juga menjadi alasan kondisi tanah berada dalam keadaan jenuh. Hal tersebut mengakibatkan kelembapan tanah meningkat dikarenakan telah melebihi kapasitas retensi tanah. Jamulya dan Suratman (1993) menyatakan bahwa kelembapan tanah terdiri atas air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah yang berada di atas *water table*. Selama 12 hari pengamatan, setiap reaktor masih berada dalam kategori wet+ yang menandakan bahwa kelembapan masih berada dalam rentang 80-100%. Dalam pengamatan fisik yang dilakukan, terjadi pengurangan kandungan larutan pada reaktor dikarenakan adanya proses penguapan maupun degradasi senyawa organik ( $CH_3COOH$ ). Kondisi tersebut didukung oleh Mustapha *et al.* (2013) yang

menyatakan bahwa *V.alginolyticus* merupakan spesies bakteri yang hidup secara bebas di air dan sedimen dengan kelembapan relatif tinggi.

#### 4.2.4 Total Koloni Bakteri Tanah

Total koloni bakteri tanah dianalisis pada hari ke 0, 4, 8, dan 12 menggunakan metode CFU (*Colony Forming Unit*) dengan pengenceran bertingkat. Total koloni yang akan dianalisa adalah bakteri *V.alginolyticus* sebagai isolat bakteri yang ditambahkan dan bakteri alamiah tanah. Analisa total koloni bakteri bertujuan untuk mengetahui secara kuantitatif pertumbuhan bakteri pada setiap reaktor uji. Analisa total koloni bakteri tanah diperlukan karena diharapkan isolat bakteri yang ditambahkan berfungsi sebagai agen bioremediasi aluminium. Hasil uji koloni bakteri selama pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat nilai log jumlah bakteri pada reaktor uji tanpa penambahan *V.alginolyticus* (V0). Terdapat 3 (tiga) reaktor tanpa penambahan bakteri dengan variasi konsentrasi  $AlCl_3$  sebesar 0 mg/L (C0), 50 mg/L (C1), dan 100 mg/L (C2). Nilai log bakteri pada reaktor kontrol tanpa penambahan *V.alginolyticus* dan pencemar aluminium (V0C0) cenderung mengalami kenaikan dan menurun pada akhir pengamatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada awal pengamatan bakteri alamiah tanah dapat melakukan pertumbuhan dengan baik karena tersedianya sumber karbon yang berasal dari penambahan nutrisi. Tidak adanya penambahan pencemar  $AlCl_3$  juga menjadi salah satu faktor pendukung pertumbuhan bakteri alamiah. Dimana berdasarkan Chau *et al.* (2014) pada kondisi asam Al berubah menjadi larut dan beracun terhadap mikroorganisme. Disamping itu, terdapat perbedaan total koloni bakteri pada reaktor dengan dan tanpa penambahan *V.alginolyticus*. Dimana reaktor uji dengan penambahan *V.alginolyticus* memiliki total koloni bakteri yang lebih besar jika dibanding dengan reaktor tanpa penambahan *V.alginolyticus* pada hari ke-0.



Gambar 4.6 Log CFU Bakteri pada Tiap Reaktor Selama Waktu Uji

Reaktor uji dengan penambahan pencemar (V0C1 dan V0C2) cenderung mengalami penurunan nilai log bakteri hingga akhir pengamatan berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa total koloni bakteri pada matriks tanah mengalami penurunan dengan adanya pencemar logam Al. Pada reaktor dengan penambahan 50 mg/L (V0C1) terjadi kenaikan nilai log pada hari ke-4 namun mengalami penurunan hingga hari ke-12. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri masih mampu mengalami pertumbuhan hingga hari ke-4, namun pertumbuhan mulai terhambat hingga mengakibatkan total koloni berkurang. Pada reaktor dengan penambahan Al yang lebih besar (V0C2), jumlah sel bakteri cenderung mengalami penurunan hingga hari ke-12. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang lebih besar (100 mg/L), aluminium yang ditambahkan mampu menghambat pertumbuhan bakteri.

Nilai log bakteri pada reaktor uji dengan penambahan *V.alginolyticus* dan tanpa pencemar (V1C0, V2C0, dan V3C0) cenderung memiliki *trend* pertumbuhan bakteri yang sama. Koloni bakteri mengalami peningkatan dengan meningkatnya nilai log hasil CFU. Namun, pada hari ke-8 hingga akhir waktu uji, jumlah koloni bakteri cenderung mengalami penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa koloni bakteri mengalami kenaikan hingga hari ke-4 karena mampu melakukan proses pertumbuhan dari penambahan sumber karbon. Bakteri masih mampu melakukan pertumbuhan dengan mendegradasi nutrisi yang terkandung pada tanah. Namun berangsur-angsur terjadi kompetisi antar bakteri dikarenakan jumlah bakteri yang semakin banyak dan nutrisi yang terbatas. Nutrisi yang terbatas dikarenakan penambahan nutrisi hanya pada saat awal penelitian. Hal tersebut mengakibatkan terdapat bakteri yang tidak mampu bertahan hidup dan mati.

Reaktor uji dengan penambahan bakteri (2%, 5%, dan 10%) dan Al (50 dan 100 mg/L  $AlCl_3$ ) cenderung memiliki *trend* yang sama. Koloni bakteri mengalami penurunan hingga akhir waktu uji. 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) juga menyatakan bahwa penambahan aluminium pada media tanah dapat mengurangi jumlah dan keberagaman mikroba dalam tanah.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada kondisi awal pertumbuhan tertinggi bakteri berada pada reaktor V0C0. Dimana kenaikan nilai log menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri alamiah tanah karena tidak adanya pencemar. Keseluruhan reaktor dengan penambahan isolat *V.alginolyticus* menunjukkan bahwa pertumbuhan tertinggi berada pada reaktor dengan dengan penambahan bakteri dan tanpa pencemar (V1C0, V2C0, V3C0). Adanya penambahan bakteri cenderung menambah jumlah mikroba dalam tanah dan mampu melakukan pertumbuhan lebih tinggi karena tidak adanya pencemar aluminium. Dimana logam berat merupakan salah satu senyawa kimia utama penghambat pertumbuhan bakteri (Borowitzka dan Borowitzka, 1988). Keseluruhan reaktor pada akhir waktu uji (hari ke-12) cenderung mengalami penurunan jumlah koloni bakteri. Penurunan jumlah koloni menandakan bahwa kecepatan pertumbuhan mulai menurun. 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).

Tabel 4.1 Hasil Analisis Koloni *V.alginolyticus* pada Media Selektif

No	Reaktor Uji	Log CFU Bakteri	
		Hari ke-0	Hari ke-12
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>			
1	V1C0	-	-
2	V1C1	3,88	3,54
3	V1C2	3,49	-
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>			
4	V2C0	-	3,34

No	Reaktor Uji	Log CFU Bakteri	
		Hari ke-0	Hari ke-12
5	V2C1	2,90	-
6	V2C2	3,18	2,95
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>			
7	V3C0	3,73	3,30
8	V3C1	-	-
9	V3C2	3,4	3,15

Note : (-) tidak ada koloni bakteri yang tumbuh pada media TCBS

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat dilihat log CFU bakteri *V.alginolyticus* pada setiap reaktor selama 12 hari. 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. Koloni *V.alginolyticus* cenderung mengalami penurunan pada akhir waktu uji. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya pencemar yang ditambahkan maupun karena sifat kompetisi bakteri akibat nutrisi yang terbatas. Penurunan *V.alginolyticus* terbesar terjadi pada reaktor dengan penambahan 10% v/v dan 100 mg/L  $\text{AlCl}_3$  (V3C2) yang mencapai 44% dari jumlah koloni

awal. Pada reaktor V1C1 terjadi penurunan jumlah koloni *V.alginolyticus* paling kecil yakni sebesar 36% dari jumlah koloni awal. Terdapat reaktor uji yang tidak menunjukkan adanya pertumbuhan koloni *V.alginolyticus* pada media TCBS. Hal ini dapat disebabkan karena sampel tanah yang dianalisis telah tersimpan dalam waktu yang lama saat pengujian TCBS dilakukan. Kemungkinan lainnya adalah sampel yang dianalisis tidak memerlukan pengenceran bertingkat saat dilakukan analisis total koloni dengan metode CFU.

Selama waktu uji, reaktor dengan penambahan dan tanpa penambahan *V.alginolyticus* cenderung mengalami penurunan total koloni bakteri. Reaktor tanpa penambahan *V.alginolyticus* memiliki rata-rata penurunan koloni bakteri sebesar 15,2% dari jumlah awal (hari ke-0). Reaktor uji dengan penambahan 2% dan 5% *V.alginolyticus* mengalami rata-rata penurunan sebesar 15,5% dan 19,7%. Rata-rata penurunan koloni bakteri terbesar ada pada reaktor dengan penambahan 10% *V.alginolyticus* yang mencapai 24,9% dari total koloni awal. Pada akhir waktu uji (hari ke-12), didapatkan jumlah koloni terbesar berada pada reaktor penambahan 2% *V.alginolyticus* dan tanpa pencemar aluminium (V1C0).

#### 4.2.5 Total Aluminium

Parameter total aluminium dianalisis pada hari ke 0, 4, 8, dan 12. Total aluminium dianalisis menggunakan metode ICP. Analisa nilai total aluminium pada sampel tanah bertujuan untuk untuk mengetahui efisiensi penyisihan aluminium yang dapat terjadi. Hasil analisa aluminium pada setiap reaktor uji selama pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

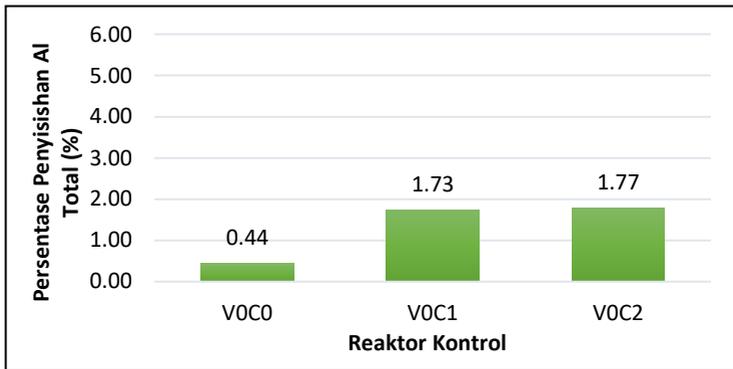
Tabel 4.2 Hasil Analisis Aluminium

No	Reaktor	Penambahan AlCl <sub>3</sub>		Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
		mg/L	mg/kg				
Tanpa Penambahan Bakteri							
1	V0C0	0	0	225	224	223,2	224
2	V0C1	50	44	242,2	240,2	238,2	238

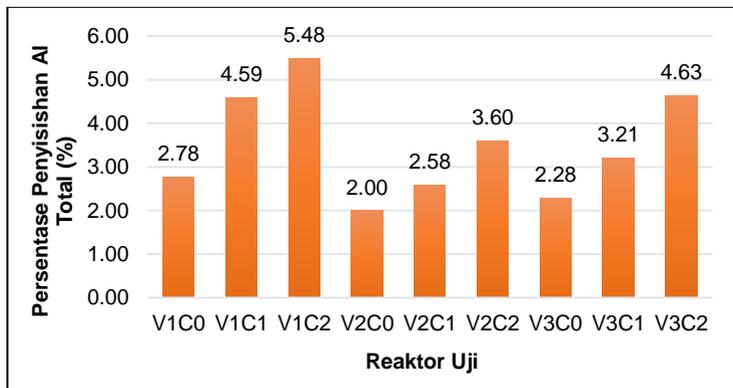
No	Reaktor	Penambahan AlCl <sub>3</sub>		Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
		mg/L	mg/kg				
3	V0C2	100	88	270,8	268,7	267,1	266
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>							
4	V1C0	0	0	230,6	228,3	226	224,2
5	V1C1	50	44	256,9	253,1	249,4	245,1
6	V1C2	100	88	277,2	272,2	266,9	262
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>							
7	V2C0	0	0	230,2	227,9	225,6	225,6
8	V2C1	50	44	234,4	232,1	229,9	228,3
9	V2C2	100	88	266,8	262,1	258,1	257,2
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>							
10	V3C0	0	0	228	225,7	224,1	222,8
11	V3C1	50	44	239,9	236,8	235,1	232,2
12	V3C2	100	88	281,7	279,2	275,9	266

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa reaktor kontrol tanpa penambahan bakteri dan aluminium juga memiliki kandungan aluminium pada tanah. Kandungan aluminium pada tanah sebesar 225 mg/L atau setara dengan 11530 mg/kg tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa media tanah yang digunakan telah mengandung aluminium. Hanafiah (2005) dalam Gusva (2017) menyatakan bahwa aluminium merupakan salah satu unsur kimiawi yang menyusun lapisan kerak bumi (lithosfer). Al, Fe, Si, Ca, Na, K, Mg dan oksigen dapat bergabung membentuk fraksi mineral anorganik dalam tanah seperti kuarsa (SiO<sub>2</sub>), albite (NaAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), dan magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Secara keseluruhan, reaktor dengan dan tanpa penambahan bakteri mengalami penurunan kandungan aluminium selama 12 hari pengujian. Persentase penyisihan aluminium yang terjadi

pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.7 Persentase Penyisihan Aluminium pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri



Gambar 4.8 Persentase Penyisihan Aluminium pada Reaktor Dengan Penambahan Bakteri

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat persentase penyisihan aluminium pada reaktor tanpa penambahan bakteri *V.alginolyticus*. Dalam keadaan tanpa penambahan pencemar (VOC0) kandungan aluminium dalam tanah cenderung tetap.

Pada penambahan 50 dan 100 mg/L  $\text{AlCl}_3$  terjadi penyisihan aluminium sebesar 1,73% dan 1,77%. Hal ini menandakan bahwa penyisihan aluminium cenderung sangat kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada reaktor kontrol V0C0 tidak terjadi penyisihan aluminium oleh bakteri alamiah. Sementara pada reaktor V0C1 dan V0C2 dapat terjadi pengendapan ion Al secara fisik dikarenakan rentang kenaikan pH yang cukup besar menuju pada kondisi netral selama pengujian (pH 7,0-8,0).

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada reaktor uji dengan penambahan bakteri terjadi peningkatan persentase penyisihan seiring dengan meningkatnya pencemar  $\text{AlCl}_3$  yang ditambahkan. Pada setiap penambahan volume bakteri, reaktor dengan penambahan 100 mg/L aluminium memiliki persentase penyisihan tertinggi sebesar 5,48%, 3,60%, dan 4,63%. Persentase penyisihan minimum terjadi pada reaktor dengan penambahan 5% v/v *V.alginolyticus* dan tanpa penambahan pencemar (V2C0) yang hanya mencapai 2,0%. Persentase penyisihan ini memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan *V.alginolyticus*.

Reaktor dengan penambahan bakteri *V.alginolyticus* menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai persentase penyisihan aluminium. Dimana berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa jumlah koloni *V.alginolyticus* memiliki *trend* menurun di akhir waktu pengujian. Reaktor V1C2 dengan persentase penyisihan terbesar mengalami penurunan total koloni bakteri terbesar dibandingkan dengan reaktor uji lainnya yang mencapai 27,93%. Reaktor uji dengan penyisihan Al minimum (V2C0) mengalami penurunan total koloni bakteri sebesar 20,7% pada akhir waktu pengujian.

Untuk menyatakan ada tidaknya hubungan yang nyata antara variasi penambahan bakteri *V.alginolyticus* terhadap persentase penyisihan aluminium maka diperlukan uji secara statistik. Uji statistik yang digunakan adalah uji ANOVA yang digunakan untuk membandingkan hasil perlakuan (*treatment*) populasi pada setiap perlakuan yang berbeda. Hasil uji statistik ANOVA dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.

One-way ANOVA: REMOVAL versus BAKTERI					
Source	DF	SS	MS	F	P
BAKTERI	3	4,614	1,538	2,45	0,139
Error	8	5,031	0,629		
Total	11	9,646			

S = 0,7930    R-Sq = 47,84%    R-Sq(adj) = 28,28%

Gambar 4.9 Hasil analisa uji ANOVA pada Penambahan Bakteri Terhadap Persentase Penyisihan Al

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa nilai *Pvalue* hasil uji statistik sebesar 0,139. Pada rentang kepercayaan sebesar 95%, apabila nilai dari *Pvalue* >  $\alpha$  maka  $H_0$  diterima. Hipotesis awal ( $H_0$ ) yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahwa faktor penambahan isolat bakteri *V.alginolyticus* tidak berpengaruh terhadap persentase penyisihan aluminium (respon). Berdasarkan uji tersebut didapatkan bahwa nilai *Pvalue* sebesar 0,139 > 0,05 maka  $H_0$  diterima. Dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi penambahan bakteri *V.alginolyticus* tidak berpengaruh nyata terhadap persentase penyisihan aluminium ( $p > 0,05$ ). Dimana variasi volume penambahan *V.alginolyticus* tidak memberikan perbedaan terhadap respon secara statistik. Sehingga didapatkan bahwa penambahan volume bakteri *V.alginolyticus* tidak memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap persentase penyisihan aluminium pada tanah (media uji).

Selanjutnya dapat dilakukan uji lanjut dengan menggunakan metode Tukey. Metode Tukey (uji perbandingan) dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan dari masing-masing perlakuan yang telah diberikan setelah mengetahui adanya pengaruh signifikan. Apabila pada uji statistik ANOVA didapatkan bahwa faktor tidak berpengaruh nyata terhadap respon, maka metode uji lanjut Tukey dapat dilakukan ataupun tidak. Hasil uji lanjut Tukey penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.

Grouping Information Using Tukey Method			
BAKTERI	N	Mean	Grouping
10	3	3,3743	A
5	5	3,0749	A
2	1	2,7754	A
0	3	1,7597	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 4.10 Hasil Analisa Uji Tukey pada Variasi Penambahan Bakteri Terhadap Persentase Penyisihan Al

Berdasarkan Gambar 4.10, hasil analisa uji statistik dengan metode Tukey memperlihatkan bahwa penambahan 0%, 2%, 5%, dan 10% v/v *V.alginolyticus* berada pada grup A. Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa pada penambahan 0%, 2%, 5%, dan 10% v/v bakteri *V.alginolyticus* tidak memberikan perbedaan secara nyata terhadap respon. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji statistik ANOVA sebelumnya yang menyatakan bahwa variasi volume penambahan bakteri *V.alginolyticus* tidak menghasilkan perbedaan terhadap persentase penyisihan aluminium (respon).

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas, maka dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Variasi volume penambahan bakteri *V.alginolyticus* pada tanah tercemar aluminium tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap persentase penyisihan aluminium.
2. Persentase penyisihan aluminium tertinggi berada pada rektor V1C2 yang mencapai 5,48%. Sementara persentase penyisihan aluminium tertinggi yang dilakukan oleh bakteri *V.alginolyticus* mencapai 3,71%.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian 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. Diperlukan adanya penambahan nutrisi secara kontinyu selama proses pengujian untuk menghindari kompetisi antar bakteri.
3. Diperlukan adanya analisis parameter salinitas pada media tanah tercemar Al sebagai tempat hidup bakteri *V.alginolyticus*. Dimana bakteri tersebut termasuk dalam salah satu bakteri halofilik.
4. Dapat dilakukan analisis parameter kandungan logam berat (aluminium) yang bersifat *bioavailable* dengan ekstraksi EDTA. Sehingga dapat diketahui jumlah aluminium yang mampu diserap oleh bakteri.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Amer, A., Ramadan, A., Abo-State, M., dan Abu-Gharbia, M. 2013. "Biosorption of Aluminum, Cobalt, and Copper Ions by *Providencia rettgeri* Isolated From Wastewater". **Journal of Basic Microbiology** 53 : 477-488.
- Abuhamed, T., E. Bayraktar, et al. 2004. "Kinetics Model for Growth of *Pseudomonas putida* F1 During Benzene, Toluene and Phenol Biodegradation". **Process Biochemistry** 39 : 983-988.
- Agustiyani, D, Imamuddin, H, Faridah, E, dan Oedjijono. 2004. "Pengaruh pH dan Substrat Organik Terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Bakteri Pengoksidasi Amonia". **Biodiversitas** Vol 5 (2) : 43-47.
- Ahluwalia, S.S., dan Goyal, D. 2007. "Microbial and Plant Derived Biomass for Removal of Heavy Metals From Wastewater". **Bioresour Technology** Vol 98 (12) : 2243-2257.
- Akbarzadeh, N. dan Shariati, M. 2014. "Aluminum remediation from medium by *Dunaliella*". **Ecological Engineering** Vol 67 (2014) : 76-79.
- Alori, E., dan Fawole, O. 2012. "Phytoremediation of Soils Contaminated with Aluminium and Manganese by Two Arbuscular Mycorrhizal Fungi". **Journal of Agricultural Science** Vol 4 (8) : 2012.
- Ayuti, S. R., Yurliasni., Sugito., dkk. 2016. "Dinamika Pertumbuhan *Lactobacillus casei* dan Karakteristik Susu Fermentasi Berdasarkan Suhu dan Lama Penyimpanan". **Agripet** Vol 16 (1) : 23-30.
- Blight, K.R., dan Ralph, D.E. 2008. "Aluminium Sulphate and Potassium Nitrate Effects on Batch Culture of Iron Oxidizing Bacteria". **Hydrometallurgy** 92: 130-134.
- Boeris, P.S., Agustin, M.R., dan Acevedo, D.F. 2016. "Biosorption of Aluminium Through the Use of Non-Viable Biomass of *Pseudomonas putida*". **Journal of Biotechnology** 236 : 57-63.

- Borowitzka, MA dan Borowitzka, LJ. 1988. **Mikroalgal Biotechnology**. Cambridge University Press, Cambridge.
- Chau, Ngo Thi Tuong., Thien, Le Van., dan Kanazawa, Shinjiro. 2014. "Identification and Characterization of Acidity-Tolerant and Aluminum-Resistant Bacterium Isolated from Tea Soil". **African Journal of Biotechnology** Vol 13 (27) : 2715-2726.
- Ciric, L., Philp, J.C., dan Whiteley, A. S. 2010. "Hydrocarbon Utilization Within a Diesel Degrading Bacterial Consortium". **FEMS Microbiology** 303 (1) : 116-122.
- Cobden, R., Alcan., dan Banbury. 1994. "Aluminium : Physical Properties, Characteristics and Alloys". **European Aluminium Association**, Europe.
- Dhanarani, S., Viswanathan, E., Piruthiviraj, P., dan Arivalagan, P. 2016. "Comparative Study on the Biosorption of Aluminum by Free and Immobilized Cells of *Bacillus safensis* KTSMBNL 26 Isolated from Explosive Contaminated Soil". **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers** 69 (2016) : 61-67.
- Dwidjoseputro. 1998. **Dasar-Dasar Mikrobiologi**. Djambatan, Jakarta.
- Esoy, A., H. Odegaard dan G. Bentzen. 1998. "The Effect of Sulphide and Organic Matter on The Nitrification Activity In Biofilm Process". **Water Science Technology** 37 (1) : 115 -122.
- Gusva, Dhani Windra. 2017. "Pengaruh Kandungan Aluminium dan Besi Tanah Terhadap Penyerapan *Dissolved Organic Carbon* (DOC) Pada Tanah Hutan Harapan Jambi". **Tugas Akhir**. Universitas Jambi, Jambi.
- Hamdi, H., Benzarti, S., Manusadzianas, L., Aoyama, I., dan Jedidi, M. 2007. Bioaugmentation and Biostimulation Effects on PAH Dissipation and Soil Ecotoxicity Under Controlled Conditions. **Soil Biology and Biochemistry** Vol 39 (2007) : 1926-135.
- Hanafiah, KA . 2010. **Dasar-Dasar Ilmu Tanah**. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.

- He, Genhe., Lin, Junyue., Liu, Qiang., Zhang, Jingfei, dan Wu, Jichun. 2012. The effects of aluminum stress 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.
- Hidayat, Syarif dan Kardena, Edwan. 2013. Penyisihan Senyawa Organik Limbah Air Terproduksi Pada Reaktor Batch Menggunakan Bakteri Indigenous dan Penambahan Nutrisi. **Thesis**. Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- 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.
- Isnadina, D. R. M., dan Hermana, J. 2013. “Pengaruh Konsentrasi Bahan Organik, Salinitas, dan pH Terhadap Laju Pertumbuhan Alga. **Seminar Nasional Pascasarjana XIII – ITS** Surabaya.
- Jamulya dan Suratman. 1993. **Pengantar Geografi Tanah**. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kareem, S.O., Omeike, S.O., Balogun, S.A., dan Adewuyi, S. 2013.” Biosorption of Manganese (II) and Aluminium (III) Ions from Aqueous Solution by Immobilized *Trichoderma asperellum* BHU216. **Global NEST Journal** Vol 16 (1) : 160-168.
- Kawai, F., Zhang, D., dan Sugimoto, M. 2000. “Isolation and Characterization of Acid-and Al-Tolerant Microorganism”. **FEMS Microbiology Letters** 189 (2000) 143-147.
- Kensa, V. M. 2011. “Bioremediation – An Overview”. **Journal of Industrial Pollution Control** Vol 27 (2) : 161-168.
- Koul, S., dan Gauba, P. 2014. “Bioaugmentation – A Strategy For Cleaning Up Soil”. **Journal of Civil Engineering and Environmental Technology** Vol 1 (5) : 72-74.

- Krstic, D., Djalovic, I., Nikezic, D., dan Bjelic, D. 2012. **Food Production – Approaches, Challenges and Tasks**. In Tech, Europe.
- Kumar, A., Bisht, B.S., dan Joshi, V.D. 2010. “Biosorption of Heavy Metals by Four Microbial Species, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, and *Aspergillus niger*”. **Journal of Biology Environmental Science** Vol 4 (12) : 97-108.
- Kurniawan, S.B. 2017. Karakterisasi Bakteri *Brochothrix thermospacta* dan *Vibrio alginolyticus* Serta Potensinya Untuk Mereduksi Aluminium dalam Air Limbah. **Thesis**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Laksono, I. D., dan Muzayanah. 2016. “Identifikasi Keluhan Masyarakat Akibat Industri Daur Ulang Aluminium di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang”. **Tugas Akhir**. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Lokeshappa, B., Shivpuri, Kandarp., Tripathi, Vivek., Dikshit, Anil K. 2012. “Assessment of Toxic Metals in Agricultural Produce”. **Food and Public Health** Vol 2 (1) : 24-29.
- Long, Susan., Mothibeli, M.A., dan Robb, F.T. 1981. “Regulation of Extracellular Alkaline Protease Activity by Histidine in a Collagenolytic *Vibrio alginolyticus* Strain”. **Journal of General Microbiology** 193-199.
- Lopez, FF., Cabrera, C., Lorenzo, M.L., Lopez, M.C. 2002. “Aluminium Levels in Convenience and Fast Food : In Vitro Study of the Absorbable Fraction”. **SCI Total Environment** 300 : 69-79.
- Machmud, M. 2001. Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba. **Buletin Agro Bio** Vol 4 (1) : 24 -32.
- Mathavan, J., dan Patnaik, A. 2016. “Analysis of Wear Properties of Aluminium Based Journal Bearing Alloys with and Without Lubrication”. **Material Science and Engineering** 149 (2016).
- Mrozik, A., dan Seget, Z. P. 2010. “Bioaugmentation as a Strategy for Cleaning Up of Soil Contaminated With

- Aromatic Compounds". **Mirobiological Research** 165 (2010) : 363-375.
- Mustapha, S., Mustapha, E.M., dan Nozha, C. 2013. "*Vibrio alginolyticus* : An Emerging Pathogen of Foodborne Disease". **International Journal of Science and Technology** Vol 2 (4).
- Newsham, K.K., Filter, A. H., dan Watkinson, A. R. 1995. "Multifunctionality and Biodiversity in *Arbuscul mycorrhizas*". **Trends in Ecology and Evolution** 10, 407-411.
- Ojumu, T.V., Petersen, J., Searby, G.E., dan Hansford, G.S. 2006. "A Review of Rate Equations Proposes for Microbial Ferrous-Iron Oxidation With a View to Application to Heap Bioleaching". **Hydrometallurgy** 83 : 21-28.
- Ozdemir, G, dan Baysal, S.H. 2004. "Chromium and Aluminum Biosorption on *Chryseomonas luteola* TEM05. **Application Environmental Biotechnology** 64 (2004) : 599-603.
- Pelczar, M. J., dan Chan E. C. S. 2005. **Dasar-Dasar Mikrobiologi**. UI Press, Jakarta.
- Pina, R.G., dan Cervantes, C. 1996. "Microbial Interactions With Aluminium". **Biometals** 1996 (9) : 311-316.
- Prajitno, Arief. 2007. Uji Sensitivitas Flavonoid Rumput Laut (*Eucheuma cottoni*) Sebagai Bioaktif Alami Terhadap Bakteri *Vibrio harveyi*. **Jurnal PROTEIN** Vol 15 Nomor 2 Tahun 2007.
- Purwanti, I. P., Abdullah, S. R. S., Hamzah, A., Idris, M., Basri, H., Mukhlisin, M., dan Latif, M. T. 2015. "Biodegradation of Diesel by Bacteria Isolated from *Sci us mucronatus* Rhizosphere in Diesel-Contaminated Sand". **Journal of Advanced Science** Vol 2 (1):140-143.
- Purwanto, H., dan Mulyonorejo. 2010. "Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pada Aluminium Cor Dengan Cetakan Pasir". **Prosiding Seminar Nasional UNIMUS 2010**.
- Purwoko, T. 2007. **Fisiologi Mikroba**. Bumi Aksara, Jakarta.

- Puspitasari, F.D., Shiivitri, M., dan Kuswytasari N.D. 2012. "Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Aerob Proteolitik dari Tangki Septik". **JURNAL SAINS DAN SENI ITS** Vol 1 (1) : 2301-928X.
- Qaiyum, M.S., Shahaudin, M.S., Syazwan, A.I., dan Muhaimin, A. 2011. "Health Risk Assessment After Exposure to Aluminium in Drinking Water Between Two Different Villages". **Journal of Water Resources and Protection** Vol 2 : 268-274.
- 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 : 230-237.
- Ratnawati, E., Ermawati, R., dan Naimah, S. 2010. "Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif Untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat". **Jurnal Kimia dan Kemasan** Vol 32 No 1 : 34-40.
- 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).
- Sarbini, K. 2012. "Biodegradasi Pyrena Menggunakan *Bacillus substilis* C19". **Tugas Akhir**. Universitas Indonesia, Depok.
- Setiadi, Tjahdra. 2007. **Pengolahan dan Penyediaan Air**. Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Shoucheng, H., Xiadong, W., Xu, L., Genhe, HE., dan Jichun, WU. 2017. "Isolation, Identification and Characterization of an Aluminium Tolerant Bacterium *Burkholderia* sp. SB1 from Acidic Red Soil. **Pedosphere** (2017).
- Singh, R., Singh, P., dan Sharma, R. 2014. "Microorganism as a Tool of Bioremediation Technology for Cleaning Environment : A Review". **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences** Vol 4 (1) : 1-6.

- Subagiyo., Margino, S., Triyanto., dan Setyati, W. A. 2015. "Pengaruh pH, Suhu, dan Salinitas Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Asam Organik Bakteri Asam Laktat yang Diisolasi dari Intestinum Udag Panaeid". **Jurnal Ilmu Kelautan** Vol 20 (4) : 187-194.
- Sugiyarto, K.H. 2003. **Dasar-Dasar Kimia Anorganik Logam**. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suragimath, P. K., dan Purohit, G.K. 2013. "A Study on Mechanical Properties of Aluminium Alloy (LM6) Reinforced with SiC and Fly Ash". **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering** Vol 8 (5) : 13-18.
- Suratman, R. 2001. "Karakteristik korosi Aluminium dan Baja Tahan Karat". **Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia** Vol 11 (1) : 27-38.
- Suresh, B., dan Ravishankar, G. A. 2004. Phytoremediation – A Novel and Promising Approach for Environmental Clean Up. **Critical Reviews in Biotechnology** 24 (2004) : 97-124.
- Sutanto, Agus. 2011. Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Nanas oleh Bakteri Indigen. **El-Hayati** Volume 01 No. 04 Maret 2011.
- Thompson, I. P., Van Der Gast, C. J., Ciric, L., dan Singer, A. C. 2005. Bioaugmentation for Bioremediation : The Challenge of Strain Selection. **Environental Microbiology** Vol 7 (2005) : 909-915.
- Thompson, J.R., Marcelino, L.A., dan Polz, M.F. 2005. **Diversity, sources, and detection of human bacterial pathogens in the marine environment**. Springer, New York.
- Trihadiningrum, Y. 2012. **Mikrobiologi Lingkungan**. ITS Press, Surabaya.
- Tsakiridis, P.E. 2012. "Aluminium Salt Slag Characterization and Utilization - A Review". **Journal of Hazardous Materials** 217-218 (2012) : 1-10.
- Vidali, M. 2001. "Bioremediation - An Overview". **Pure Application Chemistry** 73 (7) : 1163-1172.

- Vogel, T. M. 1996. Bioaugmentation as a Soil Bioremediation Approach. **Current Opinion in Biotechnology** Vol 7 (1996) : 311-316.
- Wei, L. S., dan Wendy, W. 2012. "Characterization of *Vibrio alginolyticus* Isolated from White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with Emphasis on its Antibioqram and Heavy Metal Resistance Pattern. **VETERINARSKI ARHIV** 82 (2) : 221-227.
- Zhao, H.W., D.S. Mavinic, W.K. Oldham, dan F.A. Koch. 1999. "Controlling Factors for Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Two-Stage Intermittent Aeration Process Treating Domestic Sewage". **Water Resources** 33 (4) : 961-970.

## **LAMPIRAN 1 PROSEDUR PEREMAJAAN ISOLAT BAKTERI**

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

1. Alat dan bahan yang akan 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 membawa 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 6 jam (Kuniawan, 2017) dengan temperatur 37°C.
11. Setelah 6 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 2 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 1000 mg/L.
3. Padatan  $AlCl_3$  ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 4,94 gram di dalam *beaker glass* 100 mL. Kebutuhan  $AlCl_3$  didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 1000 \text{ mg/L } Al^{+3} &= \frac{\overset{+3}{27}}{\overset{3}{1000}} \times \frac{\overset{3}{\text{Massa padatan } AlCl_3}}{\overset{3}{1}} \\
 1000 \text{ mg/L } Al^{+3} &= \frac{27 / 3}{1000 / 1} \times \frac{\text{Massa padatan } AlCl_3}{1} \\
 \text{Massa padatan } AlCl_3 &= \frac{27 / 1}{1000 / 3} \\
 &= 4944,4 \text{ mg} \\
 &= 4,94 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

4. Kemudian ditambahkan asam HCl 1N sebanyak 4 mL ke dalam *beaker glass* yang telah berisi padatan  $AlCl_3$ .
5. Tambahkan asam  $HNO_3$  1N sebanyak 1 mL ke dalam *beaker glass* yang telah berisi padatan  $AlCl_3$  dan asam HCl.
6. Panaskan campuran padatan  $AlCl_3$ , asam HCl, dan  $HNO_3$  diatas *plate* pemanas yang bertujuan untuk melarutkan padatan  $AlCl_3$ .
7. Setelah seluruh padatan  $AlCl_3$  telah larut, maka *plate* pemanas dapat dimatikan dan larutan didinginkan selama beberapa menit.
8. Larutan aluminium yang telah didinginkan kemudian dimasukkan ke dalam labu pengencer 1 L dengan hati-hati.
9. Ditambahkan aquades ke dalam labu pengencer hingga volume larutan mencapai 1L yang bertujuan untuk mengencerkan larutan.

10. 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.
11. Larutan stok aluminium di dalam labu pengencer kemudian disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1,1 atm.

### **LAMPIRAN 3 PROSEDUR UJI KOLONI BAKTERI**

Prosedur pengujian koloni bakteri tanah pada setiap reaktor penelitian antara lain:

1. Alat dan bahan yang diperlukan telah disterilisasi dan siap untuk digunakan (larutan salin, media NA, cawan petri, spatula, dan mikropipet).
2. Diambil sebanyak 1 gram sampel tanah pada masing-masing reaktor menggunakan spatula.
3. Sampel tanah tercemar dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah berisi 9 ml larutan salin steril dalam kondisi aseptik.
4. Dilakukan pengocokan dengan membalik-balikkan tabung reaksi agar sampel tanah bercampur ke dalam larutan salin.
5. Dilakukan pengenceran sampel tanah tercemar tersebut dengan cara mengambil 1 ml sampel dan dimasukkan ke dalam 9 ml larutan salin pada tabung reaksi lainnya. Pengenceran dilakukan sebanyak 5-7 kali.
6. Diambil sebanyak 0,10 mL menggunakan mikropipet pada tabung reaksi dengan nilai 3 pengenceran terakhir dan dimasukkan ke dalam cawan petri steril. Langkah ini tetap dilakukan dalam kondisi aseptik.
7. Dimasukkan masing-masing 10 mL NA cair ke dalam setiap cawan petri dan diratakan ke seluruh permukaan cawan.
8. Cawan petri berisi bakteri dan NA dibiarkan selama  $\pm 15$  menit hingga memadat.
9. Cawan petri kemudian dimasukkan ke dalam inkubator 37°C selama 24 jam agar bakteri dapat tumbuh pada media agar.
10. Dilakukan perhitungan jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada setiap cawan petri setelah 24 jam menggunakan *Bacteria Colony Counter*.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

#### **LAMPIRAN 4 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, HNO<sub>3</sub> 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 HNO<sub>3</sub>.
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 ICP.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN 5 HASIL PERHITUNGAN KOLONI BAKTERI PADA UJI RESISTENSI *V.alginolyticus***

Hasil perhitungan koloni bakteri pada uji resistensi *V.alginolyticus* dapat dilihat pada tabel berikut.

Reaktor	Nilai Log CFU Bakteri		Persentase Pertumbuhan Bakteri (%)	Keterangan
	Jam 0	Jam 24		
1	8,068	8,173	1,30	Reaktor dengan penambahan 0 mg/L AlCl <sub>3</sub>
2	8,450	8,473	0,27	Reaktor dengan penambahan 50mg/L AlCl <sub>3</sub>
3	8,468	8,462	-0,07	Reaktor dengan penambahan 100 mg/L AlCl <sub>3</sub>
4	8,328	8,167	-1,93	Reaktor dengan penambahan 200 mg/L AlCl <sub>3</sub>
5	8,282	7,778	-6,09	Reaktor dengan penambahan 350 mg/L AlCl <sub>3</sub>
6	0	0	0	Reaktor dengan penambahan 500 mg/L AlCl <sub>3</sub>

Perhitungan nilai log koloni bakteri dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut.

1. Reaktor dengan penambahan 0 mg/L  $\text{AlCl}_3$

- Jumlah koloni yang teramati pada cawan petri: 147 & 151
- Rata-rata jumlah koloni bakteri =  $\frac{147 + 151}{2} = 149$  koloni
- Angka pengenceran koloni = 0,000001
- Massa sampel tanah = 1 gram
- Volume reaktor = 10 mL (dalam tabung reaksi)
- Jumlah koloni bakteri per mL

$$\begin{aligned} \text{Jumlah koloni bakteri} &= \frac{149}{0,000001} \\ &= \frac{149}{10^{-6}} \\ &= 149 \times 10^6 \text{ koloni/mL} \end{aligned}$$

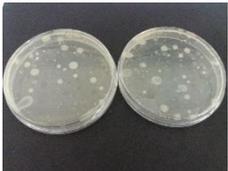
- Jumlah koloni bakteri tiap gram tanah

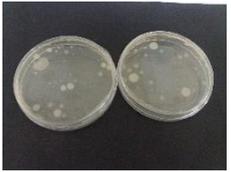
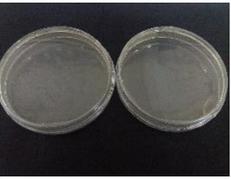
$$\begin{aligned} \text{Jumlah koloni bakteri} &= \frac{149 \times 10^6 \text{ koloni/mL} \times 10 \text{ mL}}{1 \text{ gram}} \\ &= \frac{1490000000}{1} \\ &= 149 \times 10^7 \text{ koloni/gr tanah} \end{aligned}$$

- Nilai log CFU Bakteri =  $\log (149 \times 10^7)$   
 $= \log (149 \times 10^7)$   
 $= 9,173$

**LAMPIRAN 6 HASIL PENGAMATAN KOLONI BAKTERI PADA REAKTOR DALAM UJI RESISTENSI BAKTERI**

Hasil pengamatan koloni bakteri pada setiap penambahan pencemar  $AlCl_3$  dalam uji resistensi bakteri dapat dilihat pada tabel berikut.

Reaktor	Pengamatan Koloni Bakteri		Keterangan
	Jam ke-0	Jam ke-24	
1			Reaktor dengan penambahan 0 mg/L $AlCl_3$
2			Reaktor dengan penambahan 50 mg/L $AlCl_3$
3			Reaktor dengan penambahan 100 mg/L $AlCl_3$
4			Reaktor dengan penambahan 200 mg/L $AlCl_3$

Reaktor	Pengamatan Koloni Bakteri		Keterangan
	Jam ke-0	Jam ke-24	
5			Reaktor dengan penambahan 350 mg/L $AlCl_3$
6			Reaktor dengan penambahan 500 mg/L $AlCl_3$

**LAMPIRAN 7 HASIL PENGUKURAN SUHU (°C) MEDIA TANAH PADA UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***

Hasil pengukuran suhu media tanah pada setiap reaktor uji dalam penelitian utama dapat dilihat pada tabel berikut.

NO	Reaktor	Hari ke-												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Tanpa Penambahan V.alginolyticus</i>														
1	V0C0	29	29	29	28	30	29	29	29	29	30	30	30	30
2	V0C1	29	27	29	29	30	29	29	29	29	30	30	31	30
3	V0C2	29	28	29	29	30	29	29	29	29	30	30	30	30
<i>Penambahan 2% v/v V.alginolyticus</i>														
1	V1C0	29	28	29	29	29	28	29	29	29	30	30	30	30
2	V1C1	30	29	30	30	31	30	30	30	30	30	30	30	30
3	V1C2	29	29	29	29	30	29	29	29	30	30	30	30	30
<i>Penambahan 5% v/v V.alginolyticus</i>														
4	V2C0	29	27	30	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30
5	V2C1	29	29	29	29	30	29	29	30	29	30	30	30	30
6	V2C2	29	28	29	29	30	29	29	30	29	30	30	30	30

NO	Reaktor	Hari ke-												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>														
7	V3C0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30
8	V3C1	29	28	29	29	29	29	29	30	29	30	30	30	30
9	V3C2	29	29	29	30	30	29	29	30	29	30	30	30	30

**LAMPIRAN 8 HASIL PENGUKURAN DERAJAT KEASAMAN (pH) REAKTOR PADA UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***

Hasil pengukuran derajat keasaman (pH) pada masing-masing reaktor uji selama 12 hari pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut.

NO	Reaktor	Hari ke-												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Tanpa penambahan V.alginolyticus</i>														
1	V0C0	5,0	7,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	6,5
2	V0C1	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,5
3	V0C2	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,5	6,5
<i>Penambahan 2% v/v V.alginolyticus</i>														
4	V1C0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	5,5	6,0	5,5
5	V1C1	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,8	6,5	6,5	6,0
6	V1C2	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
<i>Penambahan 5% v/v V.alginolyticus</i>														
7	V2C0	5,0	5,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0
8	V2C1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,5
9	V2C2	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0	7,0	7,0

NO	Reaktor	Hari ke-												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>														
10	V3C0	5,0	5,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0
11	V3C1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0
12	V3C2	5,0	5,5	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	7,0	6,0	7,0	6,0	6,5	6,5

**LAMPIRAN 9 HASIL PENGUKURAN KELEMBAPAN TANAH PADA REAKTOR DALAM UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***

Hasil pengukuran kelembapan pada masing-masing reaktor uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Reaktor	Hari ke-												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tanpa penambahan <i>V.alginolyticus</i>													
V0C0	wet +												
V0C1	wet +												
V0C2	wet +												
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>													
V1C0	wet +												
V1C1	wet +												
V1C2	wet +												
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>													

Reaktor	Hari ke-												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V2C0	wet +												
V2C1	wet +												
V2C2	wet +												
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>													
V3C0	wet +												
V3C1	wet +												
V3C2	wet +												

Keterangan:

- Wet + : 80% – 100%
- Wet : 60% – 80%
- Nor : 40% - 60%
- Dry + : 20% - 40%
- Dry : 0% - 20%

**LAMPIRAN 10 HASIL PERHITUNGAN LOG KOLONI BAKTERI TANAH PADA REAKTOR UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***

Hasil perhitungan koloni bakteri pada setiap reaktor uji dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Reaktor	Hari pengukuran ke-			
		0	4	8	12
Tanpa Penambahan <i>V.alginolyticus</i>					
1	V0C0	7,462	9,029	10,017	6,978
2	V0C1	7,470	7,568	5,724	6,477
3	V0C2	9,415	7,161	6,473	6,982
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>					
4	V1C0	7,716	9,097	9,045	8,477
5	V1C1	8,236	6,154	5,744	5,896
6	V1C2	7,727	6,179	6,096	5,569
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>					
7	V2C0	7,672	10,188	7,491	6,079
8	V2C1	7,675	6,736	6,032	5,833
9	V2C2	7,000	6,114	5,934	5,996
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>					
10	V3C0	8,468	9,342	8,914	7,250
11	V3C1	8,653	8,064	5,987	5,914
12	V3C2	8,743	6,473	6,101	6,243

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN 11 KANDUNGAN TOTAL ALUMINIUM PADA REAKTOR UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***

Hasil analisa kandungan total aluminium (mg/kg) dalam tanah pada setiap reaktor uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Reaktor	Kandungan Total Aluminium			
	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
Tanpa Penambahan Bakteri				
V0C0	225,0	224,0	223,2	224,0
V0C1	242,2	240,2	238,2	238,0
V0C2	270,8	268,7	267,1	266,0
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V1C0	230,6	228,3	226,0	224,2
V1C1	256,9	253,1	249,4	245,1
V1C2	277,2	272,2	266,9	262,0
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V2C0	230,2	227,9	225,6	225,6
V2C1	234,4	232,1	229,9	228,3
V2C2	266,8	262,1	258,1	257,2
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V3C0	228,0	225,7	224,1	222,8
V3C1	239,9	236,8	235,1	232,2
V3C2	281,7	279,2	275,9	268,7

Hasil analisa kandungan total aluminium (mg/kg) dalam tanah pada setiap reaktor uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Reaktor	Kandungan Total Aluminium (mg/kg)			
	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
Tanpa Penambahan Bakteri				
V0C0	11250	11200	11160	11200
V0C1	12110	12010	11910	11900
V0C2	13540	13435	13355	13300
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V1C0	11530	11415	11300	11210
V1C1	12845	12655	12467	12255
V1C2	13860	13607	13345	13100
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V2C0	11510	11395	11280	11280
V2C1	11717	1160	11492	11415
V2C2	13340	13105	12905	12860
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V3C0	11400	11285	11205	11140
V3C1	11995	11840	11755	11610
V3C2	14085	13957	13795	13432

## LAMPIRAN 12 PERHITUNGAN PENAMBAHAN NUTRISI PADA REAKTOR UJI

### 1. Hasil Uji Kandungan Carbon, Nitrogen, dan Phospor Tanah

- a. C : 0,38%
- b. N : 0,13%
- c. P : 0,085%

Berdasarkan nilai tersebut maka didapatkan rasio C : N : P sebesar 5 : 1,50 : 1. Pada kondisi tersebut nilai C/N sangat rendah, dimana hanya mencapai 3,30. Bakteri cenderung akan mengalami kekurangan karbon sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya. Sehingga diperlukan penambahan sumber karbon *biodegradable*, yakni asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Berdasarkan Hidayat dan Kardena (2013) rasio optimum penambahan nutrisi adalah rasio C:N:P sebesar 100:10:1. Maka dilakukan penambahan asam asetat sebagai sumber C bagi bakteri untuk menyeimbangkan kandungan N berlebih pada tanah. Perhitungan penambahan asam asetat adalah sebagai berikut.

$$\text{Rasio CNP Tanah} = 5 : 1,5 : 1$$

$$\text{Rasio yang diinginkan} = 100 : 10 : 1$$

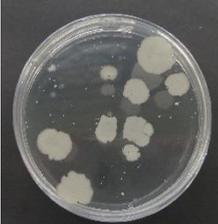
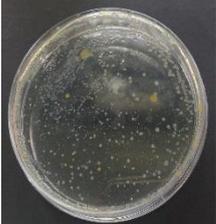
Untuk mendapatkan perbandingan yang diinginkan diatas maka rasio CNP tanah harus berubah menjadi 15 : 1,5 : 0,15

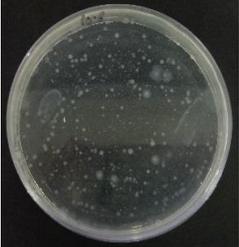
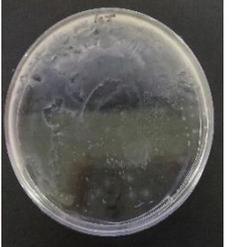
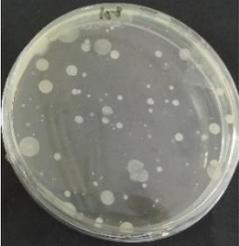
- Keperluan sumber C =  $(0,38\% \times 15/5) - \text{C awal}$   
 $= (0,38\% \times 3) - 0,38\%$   
 $= 0,76\%$
- Berat C diperlukan =  $0,76\% \times \text{massa total tanah}$   
 $= 0,76\% \times 2000 \text{ gr}$   
 $= 15,2 \text{ gr}$
- Berat  $\text{CH}_3\text{COOH}$  =  $\text{berat C} \times \text{Mr} / (\text{Ar C} \times 2)$   
 $= (15,2 \text{ gr} \times 60 \text{ gr/mol}) / (12 \text{ gr/mol} \times 2)$   
 $= 38 \text{ gr}$
- Volume  $\text{CH}_3\text{COOH}$  =  $\text{berat/densitas}$   
 $= 38 \text{ gr} / (1,05 \text{ gr/mL})$   
 $= 36,19 \text{ mL}$

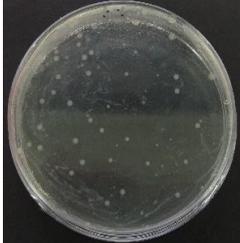
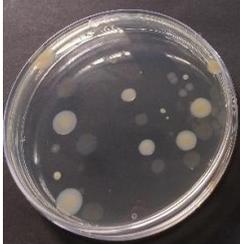
Maka dilakukan penambahan asam asetat 36mL tiap reaktor

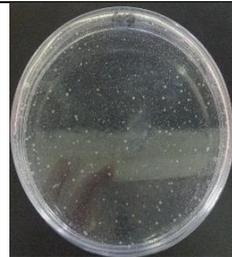
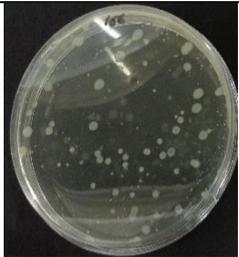
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

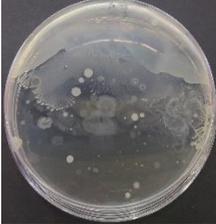
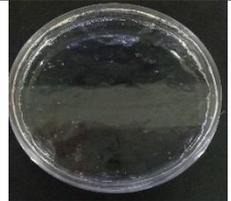
**LAMPIRAN 13 HASIL PENGAMATAN KOLONI BAKTERI PADA UJI BIOAUGMENTASI *V.alginolyticus***  
 Hasil pengamatan koloni bakteri pada reaktor uji bioaugmentasi *V.alginolyticus* dapat dilihat pada tabel berikut.

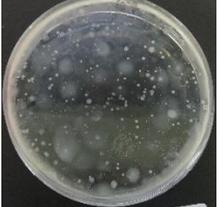
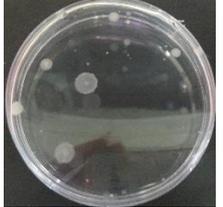
Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
Tanpa Penambahan <i>V.alginolyticus</i>				
V0C0				
V0C1				

Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
V0C2				
Penambahan 2% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V1C0				

Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
V1C1				
V1C2				
Penambahan 5% v/v <i>V.alginolyticus</i>				

Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
V2C0				
V2C1				

Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
V2C2				
Penambahan 10% v/v <i>V.alginolyticus</i>				
V3C0				

Reaktor	Pengamatan Hari ke-			
	0	4	8	12
V3C1				
V3C2				

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Devita Yulisa Simanjuntak lahir di Sangatta, 17 Juli 1996. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar pada tahun 2002-2007 di SD YPPSB 1 Kota Sangatta. Kemudian melanjutkan di SMP YPPSB Kota Sangatta pada tahun 2007-2010. Adapun pendidikan tingkat atas dilanjutkan di SMAN 1 Kota Balikpapan pada tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, ITS Surabaya pada tahun 2014.

Selama perkuliahan penulis aktif sebagai peserta dan panitia dalam berbagai kegiatan HMTL dan akademik jurusan. Semasa kuliah, penulis menjabat sebagai anggota Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL FTSP ITS 2015/2016, Sekretaris Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL FTSP ITS 2016/2017, dan anggota Tim Persekutuan Doa Teknik Lingkungan HMTL FTSP ITS 2016/2017. Selain itu penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium Teknik Analisis Pencemar Lingkungan (TAPL) dan Remediasi Badan Air dan Pesisir (RBAP). Berbagai pelatihan dan seminar juga telah diikuti oleh penulis dalam rangka mengembangkan kemampuan dan potensi diri. Penulis dapat dihubungi melalui email di [devita.yulisa@gmail.com](mailto:devita.yulisa@gmail.com).

## FORMULIR SIDANG UJIAN LISAN TUGAS AKHIR

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Devita Yulisa S

NRP : 03211440000082

mengajukan permohonan untuk melaksanakan Sidang Ujian Tugas Akhir dengan:

Judul Tugas Akhir : Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibro alginolyticus* pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium

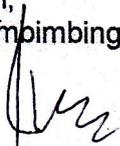
Dosen Pembimbing : Ipong Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

Laboratorium : Remediasi Lingkungan

Kategori Tugas Akhir (Pilih salah satu) : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka

Surabaya, 07 Juni 2018

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

  
Ipong Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

Mahasiswa Ybs.

  
Devita Yulisa S

**\*Catatan:**

Formulir ini diserahkan ke **Sekretariat Jurusan** dengan menyertakan:

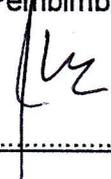
1. Laporan Tugas Akhir (4 eksemplar)
2. Berita Acara Seminar Kemajuan TA (Form KTA-02) yang sudah diparaf penguji
3. Lembar Kegiatan Asistensi (Form FTA-03)
4. Form Perbaikan (Form FTA-04)

**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Devita Yulisa S  
 NRP : 03211440000082  
 Judul Tugas Akhir : Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Tanah Tercemar Aluminium

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1)	22 Januari 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tetap menggunakan tanah taman</li> <li>- Uji IAP dilakukan pada hari ke 0, 4, 8, 12</li> <li>- Uji CFU Bakteri dilakukan pada hari ke 0, 4, 8, 12</li> <li>- Uji dahulu kandungan C, N, P dalam tanah ↳ ke Lab UPN</li> <li>- Fiksasi RAB</li> <li>- Pencemar pakasi <math>AlCl_3</math> → <math>AlPO_4</math> inden 7 bulan</li> </ul>	
2)	26 Maret 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menunggu hasil uji C-organik dari UPN ul lanjut ke Penelitian utama</li> <li>- Uji resistensi bakteri selesai → memaknai konsentrasi 50 dan 100 mg/L</li> <li>- Hasil uji resistensi 500 mg/L → jam ke-0 tdk ada bakteri ↳ cari jurnal mendukung</li> </ul>	
3)	18 April 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Running penelitian utama sdh selesai</li> <li>- Dlanjutkan sampai 12 hari + pengadukan tiap hari</li> <li>- Masih analisa CFU hari 8 dan 12</li> <li>- Dit analisa apakah bakteri <i>Vibrio</i> masih mendominasi / tidak hingga hari ke-12</li> <li>- Laporan (draft) ke Bu Iping hari Kamis</li> </ul>	
4)	24 April 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- asistensi hari CFU hari ke 0, 4, 8, 12</li> <li>- cari kenapa bakteri turun di hari ke-4</li> <li>- bandingkan ul tiap konsentrasi Al mana yang turun paling banyak jumlah bakteri.</li> <li>- cari kenapa penurunan lebih besar di 50 mg/L <math>AlCl_3</math></li> </ul>	

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing





**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Devita Yulisa Simanjuntak  
 NRP : 03211440000082  
 Judul Tugas Akhir : Studi Bioremediasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
5)	03 Mei 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- persentase penyisihan aluminium pakar yg bioavailable</li> <li>- cari dasar teori perhitungannya</li> <li>- cari spesifikasi alat ICP</li> <li>- nama laboratorium dirpartikan.</li> <li>- <i>V. alginolyticus</i> % removal terbesar hanya 11,46% → apakah mampu meremediasi / tidak?</li> </ul>	
6)	05 Mei 2018	<p>Asistensi ppt sidang progres</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latar belakang → harus ada penelitian terdahulu <i>V. alginolyticus</i> mampu removal Al</li> <li>- Metode → dirjabarkan yg penting saja</li> <li>- Perbaiki saran</li> </ul>	
7)	21 Mei 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uji coba pakar media selektif 4/CFU hari ke 0 dan 12 (ambil dan akhir)</li> <li>- Judul sesuaikan dengan saran Prof Sarwoko</li> <li>- Uji statistik anava → pengaruh ketimpulan (diperbaiki)</li> <li>- Penjelasan kenapa pfl naik terus tiap reaktor → cari dasar teori</li> </ul>	
8)	26 Mei 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Labikan uji duplo 4/ 2 reaktor</li> <li>- setiap reaktor tetap diaduk tiap hari → 72 hari</li> <li>- Sistematis dan typo laporan diperbaiki</li> <li>- persentase penyisihan Al pakar yg total → hari Lab</li> </ul>	

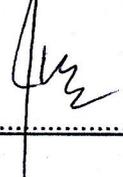
Surabaya, .....  
 Dosen Pembimbing

**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama :  
NRP :  
Judul Tugas Akhir :

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
9)	31 Mei 2018	<p>Tambahkan biografi penulis pada laporan</p> <p>Harus uji media selektif</p> <p>Analisis berdasarkan karakteristik fitrik bakteri → tidak dipakai karena tidak efektif</p> <p>- Uji Anova → kuno tak mempengaruhi permentare penyisihan aluminium</p>	

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing





KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02

Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu 09-Mei-18

Nilai TOEFL 497

Pukul : 09.00-10.00

Lokasi : TL-102

Judul : Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Tanah Tercemar Aluminium

Nama : Devita Yulisa S

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000082

Topik : Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
①	Perub. judul.
②	proses biologi → bakteri hrs tumbuh → bagaimana dg penelitian in
③	Buatkan media selektif & cek vibrio.
④	Bahas kenapa vibrio turun, pH turun. ↳ vibrio hanya resisten, tetapi tdk aktif.
⑤	Anova hanya & mengkonfirmasi, jk ungu dr grafik sdd menca- gulkan tdk sesuai harapan → tdk perlu anova.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

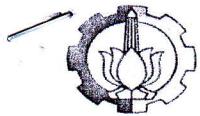
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
 Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 05-Jul-18  
 Pukul : 10.00 - 12.00 WIB  
 Lokasi : TL-102  
 Judul : STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM  
 Nama : DEVITA YULISA SIMANJUNTAK  
 NRP. : 03211440000082  
 Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Abstrak I: Al <sup>3+</sup> Untuk → ?
2.	Abstrak II: <i>V. alginolyticus</i> resisten Al <sup>3+</sup> → top Al 500 mg/l mentak → ?
3.	Kesimpulan → ?

*[Handwritten signature]*  
 16/7-2018

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
 Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 05-Jul-18  
 Pukul : 10.00 - 12.00 WIB  
 Lokasi : TL-102  
 Judul : STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM  
 Nama : DEVITA YULISA SIMANJUNTAK  
 NRP. : 03211440000082  
 Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Bahan untuk Al., Al apa dan bentuk apa?
2.	Removal Al dgn metode apa yg?
3.	Id bioremediasi Al di lab? jngl apa?
4.	Faktor yg mempengaruhi proses Bioaugmentasi?
5.	menyapa bakteri... dpt mereduksi Al?
6.	Hal 23 Tabel 2.3 Btp. pengisian
7.	limpas micro org. mengurangi Al. bg. u. - penayangan?
8.	Control (Blanko)?
9.	Apakah bakteri yg dicel kandy bakteri yg?
10.	Eff. Bk bakteri = (η - kontrol) ✓

OK  
 16/7 2018

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, Meng

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

()  
 ()





UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 05-Jul-18

Nilai TOEFL 487

Pukul : 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi : TL-102

Judul : STUDI BIOAUGMENTASI BAKTERI *Vibrio alginolyticus* PADA REMEDIASI TANAH TERCEMAR ALUMINIUM

Nama : DEVITA YULISA SIMANJUNTAK

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000082

Topik : Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
①.	Pastikan bakteri yg digunakan adl <i>V. alginolyticus</i> .
②.	Mekanisme bakteri dalam menyisihkan Al. ↳ tambahkan juga di tujuan pustaka.
③.	% pengisiran Al / bakteri <i>V. alginolyticus</i> bop. → kesimpulannya membuat % total bakteri.
④.	mengapa Al di kontrol bisa turun.
⑤.	Proses fisika → uji leaching → saran.
⑥.	Metode ekstraksi / uji konsent Al. → tulis metodologi + caption + saran.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD



**FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama : Devita Yulisa S  
 NRP : 03211440000082  
 Judul Tugas Akhir : Studi Bioaugmentasi Bakteri *Vibrio alginolyticus* Pada Remediasi Tanah Tercemar Aluminium

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1)	Perbaiki ukuran margin pada laporan Tugas Akhir. Periksa kembali ketentuan margin Tugas Akhir.	1) Ukuran margin telah sesuai dengan yang ada pada ketentuan Tugas Akhir.
2)	Menambahkan bagaimana mekanisme bakteri dalam menyisihkan Aluminium	2) Mekanisme penyisihan Al terhadap bakteri dijelaskan pada BAB 2 Tinjauan Pustaka pada subbab 2.6.
3)	Pada kesimpulan, diperbaiki mengenai efisiensi penyisihan yg dilakukan oleh bakteri. <i>V. alginolyticus</i> (reaktor-kontrol)	3) Telah diperbaiki pada kesimpulan dengan mencantumkan efisiensi penyisihan total dan yang dilakukan oleh <i>Vibrio alginolyticus</i> .
4)	Tambahkan mengenai metode ekstraksi tanah untuk analisis kandungan Al total dengan metode ICP.	4) Sudah ditambahkan pada Bab 3 Metode Penelitian dan Lampiran 4 Tugas Akhir.
5)	Uji kandungan Al sebaiknya menggunakan Al bioavailable, memperhatikan salinitas media karena merupakan bakteri halofilik.	5) Dimasukkan kedalam BAB 5 Kesimpulan dan Saran.

Dosen Pembimbing,

  
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD

Mahasiswa Ybs.,

  
Devita Yulisa S