REMEDIASI LAHAN TERCEMAR RESIDU BAUKSIT DENGAN INOKULASI *Bacillus sp.* AI 01 DAN TANAMAN *Brassica nigra*

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan

Oleh:

SHELLITA KARO SEKALI
NIM D1051211031

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shellita Karo Sekali

NIM : D1051211031

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "Remediasi Lahan Tercemar Residu Bauksit dengan Inokulasi *Bacillus sp.* AI 01 dan Tanaman *Brassica nigra*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana/magister di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 2 Juni 2026

Shellita Karo Sekali
NIM D1051211031

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

REMEDIASI LAHAN TERCEMAR RESIDU BAUKSIT DENGAN INOKULASI *Bacillus sp.* AI 01 DAN TANAMAN *Brassica nigra*

Jurusan Teknik Lingkungan
Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan

Oleh:

Shellita Karo Sekali
NIM. D1051211031

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 2 Juni 2026 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Susunan Penguji Skripsi:

Dosen Pembimbing Utama	: Dr. Ir. Winardi, S.T., M.T. NIP. 197404232005011002
Dosen Pembimbing Pendamping	: Cico Jhon Karunia Simamora, S.P., M.Si NIP. 199003032023211027
Dosen Penguji Utama	: Aini Sulastri, S.Si., M.Si NIP. 198502022019032013
Dosen Penguji Pendamping	: Muhammad Pramulya, S.P., M.Si NIP. 198108142006041003

Pontianak, 2 Juni 2026
Dekan,

Dr. -Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Winardi, S.T., M.T.
NIP. 197404232005011002

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku"
(Fillipi 4:13)

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, dan penyertaan-Nya sehingga skripsi ini dapat saya selesaikan dengan baik.

Dengan penuh rasa syukur dan hormat, karya sederhana ini saya persembahkan kepada:

Kedua Orang Tua Tercinta

Papa dan Mama tersayang yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, serta motivasi tanpa henti dalam setiap langkah perjalanan hidup dan pendidikan saya. Terima kasih atas segala cinta dan perjuangan yang tidak akan pernah dapat terbalaskan.

Ibu/Bapak Dosen dan Staf

Ibu dan Bapak dosen yang telah memberikan ilmu, arahan, bimbingan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi ini. Semoga Ibu dan Bapak dosen selalu dalam lindungan Tuhan. Serta, kak Sri yang selalu membantu saya dan memberikan dukungan.

Kawan Seperjuangan TL 2021

Tidak terlewatkan untuk kawan-kawan saya yang telah memberikan bantuan, dukungan, motivasi, serta kebersamaan selama proses perkuliahan dan penelitian berlangsung yaitu There, Vivi, Hari, Hilda, dan Palma. Tanpa kalian perjuangan saya selama ini akan terasa membosankan.

MPL-FT

Terimakasih kepada seluruh rakyat MPL-FT yang telah menjadi tempat saya menimba ilmu, mengembangkan diri, dan meraih pengalaman berharga dari abang dan kakak. Terutama kawan-kawan angkatan saya 23 yang menjadi suka duka saya selama proses awal perkuliahan. Serta, adik-adik angkatan 24, 25 dan terutama angkatan 26 yang begitu memberikan banyak cinta. Tanpa MPL-FT saya tidak akan berkembang seperti saat ini.

Akhirnya, karya ini saya persembahkan untuk semua pihak yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam perjalanan saya menyelesaikan pendidikan sarjana ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi skripsi berjudul "Remediasi Lahan Tercemar Residu Bauksit dengan Inokulasi *Bacillus sp.* AI 01 dan Tanaman *Brassica nigra*". Penelitian ini dirancang untuk menjawab tantangan pengelolaan limbah residu bauksit yang sangat basa dan berdampak pada lingkungan, terutama di sekitar industri seperti PT. Borneo Alumina Indonesia. Penelitian ini menggabungkan mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01 yang menghasilkan asam organik dan tanaman *Brassica nigra* sebagai hiperakumulator logam berat dengan penambahan bahan organik pupuk kandang kotoran sapi untuk memperbaiki kualitas tanah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi remediasi lahan tercemar residu bauksit. Skripsi ini disusun sebagai syarat pelaksanaan penelitian dalam penyelesaian Program Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

Skripsi penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Ibu Dian Rahayu Jati, S.T., M.Si., Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
3. Ibu Ir. Ulli Kadaria, S.T., M.Si., Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
4. Dr. Ir. Winardi, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan serta arahan dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini.
5. Bapak Cico Jhon Karunia Simamora, S.P., M.Si., Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan serta arahan dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini.
6. Ibu Aini Sulastri, S.Si., M.Si., Dosen Penguji Utama yang telah memberikan kritik berupa masukan ataupun saran terhadap penyusunan skripsi penelitian ini.

7. Bapak Muhammad Pramulya, S.P., M.Si., Dosen Penguji Pendamping yang telah memberikan kritik berupa masukan ataupun saran terhadap penyusunan skripsi penelitian ini.
8. Dosen dan seluruh staff Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang telah turut serta membantu dalam segala hal untuk keberlanjutan skripsi ini.
9. Kedua orang tua saya cintai, adik-adik dan seluruh keluarga dekat yang senantiasa memberikan dukungan baik berupa saran, moral maupun materi dalam penyusunan skripsi penelitian ini.
10. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Angkatan 2021 dan teman-teman angkatan Mapala Teknik yang saya cintai.

Saya berharap agar skripsi penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Pontianak, 2 Juni 2026

Shellita Karo Sekali

ABSTRAK

Residu bauksit merupakan limbah hasil pengolahan bijih bauksit yang memiliki karakteristik pH tinggi, serta mengandung logam berat, khususnya Aluminium (Al). Alumunium (Al) ini bersifat toksik dan berpotensi mencemari lingkungan, serta menghambat pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, diperlukan upaya remediasi yang efektif, efisien dan berkelanjutan untuk lahan tercemar residu bauksit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh inokulasi mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra*, serta penambahan pupuk kandang kotoran sapi terhadap penurunan kadar pencemar residu bauksit, serta menentukan kombinasi dan dosis perlakuan yang paling optimal. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 9 kombinasi perlakuan dan 3 ulangan dalam media polibag selama 19 hari. Waktu tinggal optimum dari beberapa kombinasi menunjukkan kematian pada hari ke-19, sehingga dilakukan pemanenan pada waktu tersebut. Parameter yang diamati meliputi pH tanah, pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah daun dan bobot kering), populasi mikroorganisme (TPC), kadar Aluminium (Al) dalam tanah, serta bioakumulasi Al pada akar tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan pH tanah dari 10,2 menjadi 5,08 – 8,54, serta penurunan kadar Al tanah dari 0,609 mg/kg menjadi 0,161 mg/kg. Selain itu, bioakumulasi Aluminium pada akar tanaman mencapai 0,467 mg/kg, yang menunjukkan kemampuan *Brassica nigra* sebagai tanaman hiperakumulator. Peningkatan populasi mikroorganisme juga menunjukkan peran aktif *Bacillus sp.* dalam mendukung proses remediasi melalui produksi asam organik. Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi *Bacillus sp.* AI 01, *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi terbukti berpotensi sebagai metode remediasi yang efektif, efisien dan berkelanjutan untuk lahan tercemar residu bauksit.

Kata kunci: bioremediasi; fitoremediasi; residu bauksit; *Bacillus sp.*; *Brassica nigra*; Aluminium.

ABSTRACT

Bauxite residue is a byproduct of bauxite ore processing characterized by a high pH and containing heavy metals, particularly aluminum (Al). Aluminum (Al) is toxic and has the potential to contaminate the environment and inhibit plant growth. Therefore, effective, efficient, and sustainable remediation efforts are needed for land contaminated with bauxite residue. This study aims to analyze the effect of inoculation with the microorganism Bacillus sp. AI 01, the plant Brassica nigra, and the addition of cattle manure on the reduction of bauxite residue contaminant levels, as well as to determine the most optimal treatment combination and dosage. The study was conducted experimentally using a Completely Randomized Design (CRD) with 9 treatment combinations and 3 replicates in poly bags over 19 days. The optimal retention time for several combinations showed plant death on the 19th day, so harvesting was conducted at that time. The parameters observed included soil pH, plant growth (height, number of leaves, and dry weight), microorganism population (TPC), aluminum (Al) content in the soil, and Al bioaccumulation in plant roots. The results of the study showed a decrease in soil pH from 10,2 to 5,08–8,54, as well as a decrease in soil Al concentration from 0,609 mg/kg to 0,161 mg/kg. In addition, aluminum bioaccumulation in plant roots reached 0,467 mg/kg, indicating the ability of Brassica nigra to act as a hyperaccumulator. The increase in microorganism populations also indicates the active role of Bacillus sp. in supporting the remediation process through the production of organic acids. Based on the research results, the combination of Bacillus sp. AI 01, Brassica nigra, and cattle manure has proven to be a potentially effective, efficient, and sustainable remediation method for land contaminated with bauxite residues.

***Keywords**: bioremediation; phytoremediation; bauxite residues; Bacillus sp.; Brassica nigra; Aluminum.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN i
HALAMAN PERSEMBAHAN iii
KATA PENGANTAR iv
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
1.7 Penelitian Terdahulu 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Residu Bauksit 8
2.2 Aluminium sebagai Parameter Pencemar 9
2.3 Bioremediasi 11
2.4 Fitoremediasi 12
2.4.1 Fitoekstraksi 13
2.4.2 Rizofiltrasi 13
2.4.3 Fitovolatilisasi 14
2.5 Karakteristik *Bacillus sp.* sebagai Agen Bioremediasi 16
2.5.1 Morfologi dan Karakteristik Biokimia *Bacillus sp.* 17
2.5.2 Produksi Asam Organik oleh *Bacillus sp.* 17
2.5.3 Aktivitas Antimikroorganisme dan Biosurfaktan *Bacillus sp.* 18
2.5.4 Peran *Bacillus sp.* dalam Remediasi Residu Bauksit 19
2.6 *Brassica nigra* 20

2.6.1 Mekanisme Fitoremediasi oleh Tanaman *Brassica nigra* 21
2.6.2 Aplikasi Tanaman *Brassica nigra* pada Lahan Residu Bauksit . 22
2.7 Inokulasi Mikroba *Bacillus sp.* dan Tanaman *Brassica nigra* 23
2.8 Pupuk Kandang Kotoran Sapi sebagai Sumber Nutrien 24
BAB III METODE PENELITIAN 26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 26
3.2 Variabel Penelitian 26
3.2.1 Variabel Tetap 26
3.2.2 Variabel Bebas 27
3.2.3 Variabel Terikat 27
3.3 Alat dan Bahan 27
3.4 Jenis dan Rancangan Penelitian 27
3.4.1 Teknik Pengambilan Sampel Residu Bauksit 28
3.4.2 Pembibitan Tanaman *Brassica nigra* 28
3.4.3 Peremajaan Isolat *Bacillus sp.* AI 01 pada Media *Tryptic Soy Agar* (TSA) 28
3.4.4 Pembuatan Starter *Bacillus sp.* AI 01 pada Media *Tryptic Soy Broth* (TSB) 29
3.4.5 Eksperimen Remediasi 30
3.5 Pengujian Parameter Pengamatan 31
3.5.1 Uji Parameter pH Tanah 31
3.5.2 Pengukuran Pertumbuhan Tanaman *Brassica nigra* (tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah, dan bobot kering) 32
3.5.3 Uji *Total Plate Count* (TPC) *Bacillus sp.* AI 01 dalam Tanah 32
3.5.4 Uji Parameter Aluminium dalam Tanah 33
3.5.5 Uji Bioakumulasi Aluminium dalam Akar Tanaman *Brassica nigra* 35
3.6 Analisis Data 36
3.7 Diagram Alir Penelitian 38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Pra Penelitian 39
4.2 Kondisi Parameter Harian 39
4.2.1 pH (Derajat Keasaman) 40

4.2.2 Pertumbuhan Tinggi Tanaman *Brassica nigra* 41
4.2.3 Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman *Brassica nigra* 41
4.3 Pertumbuhan Mikroorganisme 43
4.4 Kondisi Penurunan Kadar Pencemar 44
4.4.1 Kadar Al di Tanah 45
4.4.2 Bioakumulasi Al di Akar Tanaman *Brassica nigra* 45
4.5 Bobot Kering Tanaman *Brassica nigra* 46
4.6 Pengaruh Perbedaan antar Perlakuan 47
4.6.1 Pengaruh pH (Derajat Keasaman) antar Perlakuan 48
4.6.2 Pengaruh Pertumbuhan Tinggi *Brassica nigra* antar Perlakuan . 48
4.6.3 Pengaruh Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman *Brassica nigra* antar Perlakuan 49
4.6.4 Pengaruh Kadar Al di Tanah antar Perlakuan 50
4.6.5 Pengaruh Bioakumulasi Al di Akar Tanaman *Brassica nigra* antar Perlakuan 51
4.6.6 Pengaruh Bobot Kering Tanaman *Brassica nigra* antar Perlakuan 51
4.7 Pengamatan Morfologi Tanaman *Brassica nigra* 52
BAB V PENUTUP 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu (Novelty) 5
Tabel 2. 1 Hasil Uji Analisis Laboratorium Residu Bauksit 9
Tabel 2. 2 Hasil Uji Analisis dengan Spektrofotometer UV-Vis 9
Tabel 3. 1 Kombinasi Pupuk Kotoran Sapi dan Isolat Bacillus sp. AI 01 30
Tabel 4. 1 Data Pertumbuhan Mikroorganisme Selama Proses Percobaan 43
Tabel 4. 2 Data Perubahan Kadar Al Tanah Selama Proses Percobaan 45
Tabel 4. 3 Data Perubahan Bioakumulasi Al di Akar Selama Proses Percobaan .. 46
Tabel 4. 4 Perubahan Morfologi Tanaman Selama Percobaan 53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanah Residu Bauksit 8
Gambar 2. 2 Mekanisme Fitoremediasi Tanaman dalam Menyerap Polutan 15
Gambar 2. 3 Tanaman *Brassica nigra* 21
Gambar 2. 4 Pupuk Kandang Kotoran Sapi 24
Gambar 3. 1 Denah Lokasi Pabrik PT. Borneo Alumina Indonesia..... 26
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian..... 38
Gambar 4. 1 Media Tanam dalam Polibag Sesuai Kombinasi Perlakuan 39
Gambar 4. 2 Data Perubahan pH Selama Proses Percobaan..... 40
Gambar 4. 3 Data Perubahan Tinggi Tanaman Selama Proses Percobaan..... 41
Gambar 4. 4 Data Perubahan Jumlah Daun Tanaman Selama Proses Percobaan. 42
Gambar 4. 5 Data Perbedaan Bobot Kering Tanaman 47
Gambar 4. 6 Perbandingan Ukuran Tanaman Setiap Perlakuan Setelah Panen.... 55
Gambar 4. 7 Tanaman *Brassica nigra* yang Sudah Berbunga 55

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki cadangan bauksit yang cukup besar dan tersebar di beberapa wilayah, dengan Kalimantan Barat sebagai daerah penghasil utama. Potensi bauksit di Kalimantan Barat tersebar pada Kabupaten Ketapang, Sanggau, Landak, Bengkayang, dan Sintang. Industri pengolahan bauksit menjadi alumina dari bijih bauksit menghasilkan limbah proses ekstraksi berupa residu bauksit (*bauxite residue*), PT. Borneo Alumina Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan bauksit menjadi alumina yang menghasilkan limbah sampingan residu bauksit. Setiap ton alumina yang diproduksi dapat menghasilkan sekitar 1 - 1,5 ton residu bauksit (Wang dkk., 2019). Residu ini memiliki sifat basa yang tinggi (pH >10) dan mengandung berbagai logam berat (Zampieri, 2019).

Logam berat yang terkandung di dalam residu bauksit ini adalah Aluminium (Al), Besi (Fe), Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), Seng (Zn), Mangan (Mn) Terlarut, Kromium (Cr), Timbal (Pb), dan Arsenik (As) (Hasil Analisis, 2025). Aluminium dipilih sebagai parameter utama pencemar dalam residu bauksit karena konsentrasinya yang dominan. Alumunium (Al) bersifat sangat fitotoksik yang dimana dapat menghambat pertumbuhan akar, mengganggu penyerapan hara dan merusak struktur sel tanaman (Grebenshchikova dkk., 2021).

Pengelolaan residu bauksit merupakan tantangan besar bagi lingkungan karena, mengandung pH tinggi dan kandungan natrium yang berlebihan dapat merusak ekosistem tanah, mengurangi biodiversitas mikroorganisme dan membahayakan pertumbuhan tanaman yang menyebabkan kerusakan jangka panjang pada ekosistem sekitarnya (Zampieri, 2019). Upaya mencari pendekatan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi salah satu strategi yang menjanjikan yaitu dengan inokulasi agen biologis seperti bakteri dan tanaman hiperakumulator. Penelitian ini dirancang untuk menguji kombinasi antara mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01 dan tanaman *Brassica nigra* dalam remediasi lahan yang tercemar residu bauksit.

Tanaman *Brassica nigra* merupakan salah satu hiperakumulator yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam berat seperti Al, Pb, Cd, dan As. Tanaman ini mampu menyerap logam dari tanah dan mengakumulasikannya ke jaringan melalui mekanisme fitoekstraksi tanah (McGrath & Zhao, 2003). Tanaman *Brassica nigra* tidak hanya mampu menurunkan kandungan logam berat dalam tanah, tetapi juga berperan memperbaiki struktur dan kesuburan tanah melalui pelepasan eksudat akar (Meena dkk., 2023).

Bakteri *Bacillus sp.* terbukti memiliki peran penting dalam menurunkan pH tanah melalui produksi asam organik, meningkatkan kelarutan logam berat, dan memfasilitasi proses fitoremediasi. Strain *Bacillus thuringiensis* EEEL02, mampu menurunkan pH residu bauksit dari 10,26 menjadi 5,62 hanya dalam waktu 5 hari melalui fermentasi asam. Inokulasi mikroba seperti ini dapat memperkuat efisiensi tanaman hiperakumulator dalam menyerap logam berat melalui sistem akar, sekaligus mempercepat pemulihan struktur tanah (Wu dkk., 2019).

Pendekatan yang potensial untuk remediasi lahan tercemar residu bauksit adalah kombinasi antara mikroorganisme seperti *Bacillus sp.*, tanaman hiperakumulator *Brassica nigra* dan bahan organik berupa pupuk kandang kotoran sapi. Pupuk kandang kotoran sapi berfungsi sebagai stimulan organik yang meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), kandungan bahan organik dan kelembaban tanah. Aplikasi pupuk ini terbukti mampu menurunkan pH tanah alkali sebesar 0,6 – 2,22%, serta meningkatkan porositas dan retensi air. Sehingga, mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan tanaman remediasi. Selain itu, bahan organik dari pupuk kandang kotoran sapi juga menyediakan substrat bagi aktivitas mikroorganisme fermentatif seperti *Bacillus sp.*, sehingga memperkuat sinergi antara ketiganya dalam sistem remediasi (Zhang dkk., 2025).

Teknologi yang menginokulasikan penggunaan mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01 dan tanaman *Brassica nigra* untuk pemulihan lahan tercemar residu bauksit masih relatif jarang dilakukan (Marini dkk., 2021). Teknologi inokulasi ini dapat meningkatkan efektivitas remediasi pada lahan tercemar residu bauksit. Oleh karena itu, pengujian potensi kombinasi *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi dalam penelitian ini diharapkan mampu

menghasilkan solusi remediasi yang lebih optimal, efisien dan berkelanjutan untuk lahan tercemar residu bauksit (Saharan dkk., 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh inokulasi mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi terhadap penurunan konsentrasi residu bauksit?
2. Bagaimana perlakuan yang paling optimal antara mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi dalam penurunan konsentrasi residu bauksit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain:

1. Mengidentifikasi pengaruh inokulasi mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi terhadap penurunan konsentrasi residu bauksit.
2. Menentukan perlakuan yang paling optimal antara mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi dalam penurunan konsentrasi residu bauksit.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi remediasi berbasis mikroorganisme dan tanaman untuk rehabilitasi tanah tercemar.
2. Memberikan solusi berbasis lingkungan yang dapat diterapkan oleh PT. Borneo Alumina Indonesia dalam mengelola residu bauksit terhadap lingkungan secara biologi dengan efisien.
3. Mendukung upaya keberlanjutan dengan mengurangi dampak lingkungan dari limbah bauksit melalui pemulihan lahan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber limbah yang diambil adalah residu bauksit di area operasional PT. Borneo Alumina Indonesia.
2. Penelitian hanya dilakukan secara ex-situ menggunakan mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01 dan tanaman yang digunakan dalam eksperimen adalah *Brassica nigra*.
3. Penelitian ini perubahan pH tanah, pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering), populasi mikroorganisme, Alumunium dalam tanah, dan bioakumulasi Aluminium di dalam akar tanaman.
4. Penelitian ini tidak dilakukan indentifikasi mikroorganisme lain di dalam tanah.
5. Metode eksperimen remediasi menggunakan pendekatan mikroorganisme dan tanaman dengan penambahan bahan organik di dalam polibag.
6. Eksperimen di dalam polibag dilakukan selama 19 hari.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penyusunan yang digunakan dalam pembuatan skripsi ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang telaah Pustaka, dasar-dasar teori, rujukan, metode yang berhubungan dengan judul dan uraian sistematis tentang hasil-hasil penelitian yang didapat oleh penelitian terdahulu yang berkaitan dengan materi penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan alat dan bahan penelitian, metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian beserta analisisnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil penelitian dan pembahasan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

1.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu *(Novelty)*

NAMA	JUDUL	TUJUAN	METODOLOGI	HASIL
Xingfeng Zhang, Qiankui Yu, Bo Gao, Maosheng Hu, Hongxu Chen, Yexi Liang, Haifeng Yi. (2025)	Organic Amendments Enhance the Remediation Potential of Economically Important Crops in Weakly Alkaline Heavy Metal-Contaminated Bauxite Residues	Menilai efektivitas empat jenis amandemen organik (peat, kotoran sapi, bagasse, pupuk mikroorganisme) dalam memperbaiki tanah tercemar logam berat (bauxite residue) dan menumbuhkan tanaman ekonomi penting.	Percobaan pot dengan 4 jenis tanaman dan 4 jenis amandemen organik dalam tanah BR (bauxite residue) tercemar logam berat.	Amandemen organik menurunkan pH tanah, meningkatkan SOM dan aktivitas enzim, serta menurunkan translokasi logam berat ke bagian atas tanaman.
Wu Hao, Liao Jia-xin, Zhu Feng, Graeme Millar, Ronan Courtney, Xue Sheng-guo. (2019)	Isolation of an acid producing *Bacillus sp.* EEEL02: Potential for bauxite residue neutralization.	Mengisolasi bakteri yang mampu memproduksi asam untuk menetralkan pH tinggi pada residu bauksit.	Isolasi mikroorganisme dari area residu bauksit, identifikasi molekuler (16S rDNA), dan optimasi kondisi fermentasi.	EEEL02 menurunkan pH residu bauksit dari 10,26 menjadi 5,62 dalam 5 hari melalui fermentasi asam.
Qingfeng Meng, Xianfa Ma, Juan Zhang, Zhitong Yu. (2019)	The long-term effects of cattle manure application to agricultural soils as a natural-based	Menilai dampak jangka panjang aplikasi kotoran sapi terhadap perbaikan sifat fisik tanah sodik.	Percobaan lapangan jangka panjang (sejak 1995) di tanah sodik dengan aplikasi pupuk kandang sapi tahunan	Aplikasi pupuk kandang meningkatkan porositas, agregat tanah, CEC, dan konduktivitas air jenuh.

	solution to combat salinization.			
Marini, Lelly Hariyani, Susi Anggraini, Irene. (2021)	Perbaikan Sifat Kimia Residu bauksit (RM) dengan Menggunakan Bakteri Probiotik	Meneliti pengaruh bakteri probiotik aktif dalam menetralkan sifat basa kuat lumpur merah (*residu bauksit*), limbah berbahaya dari tambang bauksit, sehingga pH mendekati netral (pH 8–9).	Penelitian dilakukan dengan mencampur lumpur merah dengan bakteri probiotik aktif dalam berbagai konsentrasi dan waktu inkubasi dan mengukur perubahan pH, serta sifat fisik lumpur seperti warna, bau, dan tekstur.	Dengan penambahan bakteri probiotik aktif, pH lumpur merah dapat diturunkan hingga mendekati netral (pH 8–9). Hal ini dicapai dengan meningkatkan jumlah bakteri probiotik yang dicampurkan dan memperpanjang waktu inkubasi. Kemudian, sifat lumpur merah mengalami perbaikan, seperti warna yang lebih cerah, bau yang berkurang, dan tekstur yang lebih halus. Penggunaan bakteri probiotik aktif memberikan solusi yang lebih aman bagi lingkungan dibandingkan metode kimiawi yang sering kali menghasilkan dampak sekunder yang merugikan.
Baljeet Singh Saharan, Twinkle Chaudhary, Balwan Singh Mandal, dkk. (2023)	Microbe-Plant Interactions Targeting Metal Stress: New Dimensions for Bioremediation Applications	Mengeksplorasi dimensi baru dalam Inokulasi mikroorganisme-tanaman untuk aplikasi bioremediasi logam berat.	Tinjauan pustaka terhadap penelitian terbaru tentang Inokulasi mikroorganisme-tanaman dalam kondisi stres logam.	Inokulasi sinergis antara mikroorganisme dan tanaman dapat meningkatkan toleransi terhadap stres logam dan efisiensi bioremediasi.

Penelitian ini memiliki kebaruan *(novelty)* dalam pendekatannya melalui inokulasi mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01 dan tanaman hiperakumulator *Brassica nigra* dalam satu sistem perlakuan untuk remediasi residu bauksit yang basa. Pendekatan ini berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang umumnya hanya memanfaatkan secara tunggal maupun kombinasi agen remediasi, baik mikroorganisme maupun tanaman secara terpisah, kombinasi pupuk kandang kotoran sapi dan tanaman, serta kombinasi antara mikroorganisme dan tanaman. Penelitian ini terdiri dari 9 kombinasi yang berbeda menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) antara mikroorganisme *Bacillus sp.* AI 01, tanaman *Brassica nigra* dan pupuk kandang kotoran sapi dengan sistem yang terkontrol diharapkan mampu meningkatkan efektivitas remediasi lahan yang tercemar residu bauksit. Selain itu, penggunakan pupuk kandang kotoran sapi berfungsi mendukung pertumbuhan mikroorganisme serta tanaman dalam lingkungan yang ekstrem. Penelitian ini juga secara sistematis menguji variasi konsentrasi isolat *Bacillus sp.* AI 01 dan ketiadaannya, variasi konsentrasi pemberian pupuk kandang kotoran sapi dan ketiadaannya dengan waktu kontak 19 hari yang berpengaruh terhadap keberhasilan remediasi. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baru terhadap pengembangan teknologi remediasi limbah bauksit yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.