

**BIOREMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA
MENGUNAKAN BAHAN ORGANIK ALAMI**

**OKTAVIANO CATUR ARYA
2420834310002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2026**

**BIOREMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA
MENGUNAKAN BAHAN ORGANIK ALAMI
HALAMAN JUDUL**

**OKTAVIANO CATUR ARYA
2420834310002**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
MAGISTER TEKNIK
Program Studi S-2 Teknik Kimia**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2026**

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK KIMIA

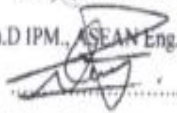
BIOREMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA
MENGUNAKAN BAHAN ORGANIK ALAMI

Oleh:

Oktaviano Catur Arya (2420834310002)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 13 Juli 2026 dan dinyatakan
LULUS

Komite Penguji

Ketua	: Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng. NIP. 19810112 200312 1 001	
Anggota 1	: Prof. Ir. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM, ASEAN Eng. NIP. 19740521 200212 2 003	
Anggota 2	: Prof. Ir. Meilana Dharma Putra, S.T., M.Sc., Ph.D. IPM, ASEAN Eng. NIP. 19820501 200604 1 014	
Pembimbing 1	: Prof. Ir. Chairul Irawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng. NIP. 197550404 20003 1 002	
Pembimbing 2	: Ir. Primata Mardina, S.T., M.Eng., Ph.D. NIP. 19810324 200604 2 002	

Banjarbaru, 15 Juli 2026

diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM



Dr. Mardiana, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001

Koordinator Program Studi S-2 Teknik Kimia



Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D.,
IPM., ASEAN Eng.
NIP.19750404 200003 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Oktaviano Catur Arya
NIM : 2420834310002
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis : **Bioremediasi Lahan Bekas Tambang Batubara
Menggunakan Bahan Organik Alami**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis/disertasi ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, 26 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Oktaviano Catur Arya

NIM. 2420834320001

RINGKASAN

Oktaviano Catur Arya. 2026. Bioremediasi Lahan Bekas Tambang Batubara Menggunakan Bahan Organik Alami. Pembimbing 1 Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D; Pembimbing 2 Ir. Primata Mardina, S.T., M.Eng., Ph.D.

Lahan bekas tambang batubara umumnya mengalami degradasi lingkungan yang ditandai oleh rendahnya pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK), kandungan bahan organik, dan ketersediaan unsur hara, serta terbatasnya aktivitas mikroorganisme tanah. Kondisi tersebut menyebabkan menurunnya kualitas tanah dan menghambat proses revegetasi sehingga diperlukan teknologi reklamasi yang mampu memulihkan fungsi fisik, kimia, dan biologi tanah secara berkelanjutan. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan bahan organik alami sebagai agen bioremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pupuk kandang, kompos, dan biochar dalam memperbaiki kualitas tanah bekas tambang batubara melalui proses bioremediasi secara eks situ serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*) sebagai tanaman indikator.

Penelitian menggunakan rancangan eksperimen eks situ dengan perlakuan tiga jenis bahan organik, yaitu pupuk kandang, kompos, dan biochar pada dosis 0%, 2,5%, 5%, dan 10% (b/b). Sampel tanah bekas tambang batubara diinkubasi selama 12 minggu. Parameter yang diamati meliputi pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK), kandungan nitrogen total (N-total), fosfor tersedia (P-tersedia), kalium tersedia (K-tersedia), karbon organik (C-organik), porositas, *bulk density*, populasi mikroorganisme tanah, serta pertumbuhan tanaman jagung. Data dianalisis secara deskriptif, analisis ragam (ANOVA), dan pemodelan kinetika orde pertama terhadap perubahan pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan bahan organik mampu memperbaiki kualitas tanah dibandingkan kontrol. Biochar memberikan peningkatan tertinggi terhadap pH tanah dan KTK sehingga mampu memperbaiki sifat kimia tanah secara lebih efektif. Kompos menunjukkan efektivitas terbaik dalam meningkatkan kandungan C-organik, nitrogen total, aktivitas mikroorganisme tanah, serta memperbaiki sifat fisik tanah. Pupuk kandang juga meningkatkan kesuburan tanah, namun efektivitasnya relatif lebih rendah dibandingkan biochar dan kompos. Peningkatan pH tanah selama masa inkubasi mengikuti model kinetika orde pertama dengan konstanta laju yang berbeda pada setiap perlakuan. Perbaikan sifat tanah tersebut berdampak positif terhadap pertumbuhan tanaman jagung, di mana perlakuan biochar dosis 10% menghasilkan pertumbuhan terbaik yang ditunjukkan oleh peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan biomassa kering.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa bahan organik alami efektif digunakan sebagai teknologi bioremediasi dan reklamasi lahan bekas tambang batubara. Biochar merupakan perlakuan paling efektif dalam memperbaiki sifat kimia tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman, sedangkan kompos lebih efektif dalam meningkatkan kandungan bahan organik dan aktivitas biologis tanah. Penerapan bahan organik berpotensi mendukung keberhasilan revegetasi serta mempercepat pemulihan fungsi ekologis lahan pascatambang secara berkelanjutan.

Kata kunci: bioremediasi eks situ, biochar, kompos, pupuk kandang, lahan bekas tambang batubara, reklamasi, *Zea mays*.

SUMMARY

Oktaviano Catur Arya. 2026. Bioremediation of Post-Coal Mining Land Using Natural Organic Materials. Pembimbing 1 Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D; Pembimbing 2 Ir. Primata Mardina, S.T., M.Eng., Ph.D.

Former coal mining lands generally experience environmental degradation characterized by low soil pH, low cation exchange capacity (CEC), low organic matter content, limited nutrient availability, and reduced soil microbial activity. These conditions decrease soil quality and inhibit the revegetation process, there by requiring sustainable reclamation technologies capable of restoring the physical, chemical, and biological functions of the soil. One potential approach is the utilization of natural organic materials as bioremediation agents. This study aimed to analyze the effectiveness of manure, compost, and biochar in improving the quality of post-coal mining soil through an ex-situ bioremediation process and to evaluate their effects on the growth of maize (*Zea mays*) as an indicator plant.

The study employed an ex-situ experimental design using three types of organic amendments, namely manure, compost, and biochar, at application rates of 0%, 2.5%, 5%, and 10% (w/w). Coal mine soil samples were incubated for 12 weeks. The observed parameters included soil pH, cation exchange capacity (CEC), total nitrogen (N-total), available phosphorus (available P), available potassium (available K), organic carbon (C-organic), porosity, bulk density, soil microbial population, and maize growth. Data were analyzed descriptively, using analysis of variance (ANOVA), and first-order kinetic modeling to evaluate soil pH changes during the incubation period.

The results showed that all organic amendments improved soil quality compared with the control treatment. Biochar produced the greatest increase in soil pH and CEC, making it the most effective amendment for improving soil chemical properties. Compost demonstrated the highest effectiveness in increasing organic carbon content, total nitrogen, soil microbial activity, and improving soil physical properties. Manure also enhanced soil fertility, although its effectiveness was relatively lower than that of biochar and compost. Soil pH improvement during incubation followed a first-order kinetic model with different reaction rate constants among treatments. The improvement in soil properties positively affected maize growth, with the 10% biochar treatment producing the best performance, as indicated by increases in plant height, leaf number, and dry biomass.

This study concludes that natural organic materials are effective as bioremediation and reclamation technologies for post-coal mining land. Biochar was the most effective amendment for improving soil chemical properties and promoting plant growth, whereas compost was more effective in enhancing soil organic matter content and biological activity. The application of organic amendments has the potential to support successful revegetation and accelerate the sustainable recovery of ecological functions in post-mining landscapes.

Keywords: ex-situ bioremediation, biochar, compost, manure, coal mine spoil, land reclamation, *Zea mays*.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Oktaviano Catur Arya lahir di Tuban, 26 Oktober 1993, dari pasangan AKP (Purn) Sunarji dan Ermalina, S.Pd, merupakan anak Ke-4 dari 4 bersaudara. Jenjang pendidikan dasar dan menengah penulis ditempuh di SDN Sidoharjo III, Tuban (1999-2005) dan SMP Negeri 1 Bangilan Tuban (2005-2008). Pendidikan tingkat atas penulis ditempuh di SMAN 4 Bojonegoro (2008-2011), kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Akprind Yogyakarta (Tahun 2011-2016). Setelah menyelesaikan pendidikan sarjana selanjutnya berkarya dari perusahaan swasta sampai Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), pada tahun 2024 penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat. Penelitian yang dilakukan penulis berfokus pada efektifitas penggunaan bahan organik secara alami untuk perbaikan lahan bekas tambang batubara.

OKTAVIANO CATUR ARYA

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, penyertaan, dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Bioremediasi Lahan Bekas Tambang Batubara Menggunakan Bahan Organik Alami”.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Kimia pada Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Prof. Ir. Chairul Irawan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan selama proses penelitian dan penyusunan tesis.
2. Ir. Primata Mardina, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Pembimbing II yang telah memberikan dukungan, saran, dan motivasi dalam penyelesaian tesis ini.
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat.
4. Keluarga, dan seluruh pihak yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat.
5. Rekan-rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian hingga penyusunan tesis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang bioremediasi, reklamasi lahan bekas tambang, dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Banjarbaru, Juni 2026

Penulis,

Oktaviano Catur Arya

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
RINGKASAN	iv
SUMMARY	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.4.1 Manfaat Akademis	5
1.4.2 Manfaat Praktis	5
1.4.3 Manfaat Sosial dan Lingkungan.....	5
1.5 Hipotesis Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Tinjauan Pustaka	9
2.2.1 Bioremediasi	9
2.2.2 Lahan Bekas Tambang Batubara	11
2.2.3 Reklamasi Lahan Bekas Tambang.....	12
2.2.4 Bahan Organik dan Perannya Dalam Reklamasi	14
2.2.5 Pengaruh Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah.....	16
2.2.6 Pengaruh Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan Vegetasi.....	17
2.3 Bahan Organik sebagai Amelioran Tanah Masam.....	18

2.3.1 Biochar	19
2.3.2 Kompos	20
2.3.3 Pupuk Kandang	20
2.4 Model Kinetika Orde Pertama Perubahan pH Tanah.....	21
2.4.1 Model Kinetika Orde Pertama	21
2.4.2 Efisiensi Penurunan Logam Berat.....	22
2.4.3 Mekanisme Penurunan Konsentrasi Logam Berat.....	23
2.5 Kerangka Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Alat dan Bahan.....	26
3.1.1 Alat.....	26
3.1.2 Bahan.....	27
3.2 Lokasi Penelitian.....	27
3.2.1 PT. Banjar Bumi Persada	27
3.2.2 Laboratorium DLH Kota Banjarbaru	28
3.3 Rancangan Penelitian	29
3.4 Variabel Penelitian	31
3.4.1 Standarisasi Berat Tanah per Unit Percobaan.....	35
3.4.2 Jumlah Ulangan.....	36
3.5 Alur Tahapan Penelitian.....	37
3.6 Metode Analisis Tanah	40
3.6.1 Sifat Kimia Tanah	40
3.6.2 Sifat Biologi Tanah	46
3.7 Prosedur Penelitian.....	49
3.7.1 Pengambilan Sampel Tanah dan Bahan Organik.....	49
3.7.2 Pencampuran dan Inkubasi	50
3.7.3 Penanaman Bibit	52
3.7.4 Pemeliharaan	53
3.7.5 Evaluasi.....	53
3.8 Metode Analisis Data.....	55
3.8.1 Analisis Deskriptif	55
3.8.2 Uji Anova	56

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Karakterisasi Fisika, Kimia, dan Biologi Tanah Bekas Tambang Batubara (pH Tanah 3) Setelah Perlakuan Pupuk Organik	57
4.2 Kondisi Awal Tanah Sebelum Perlakuan	58
4.2.1 Perubahan pH Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Kandang, Pupuk Kompos, dan Biochar	59
4.2.2 Pengaruh Perlakuan Pupuk Kandang Terhadap pH Tanah	66
4.2.3 Pengaruh Perlakuan Pupuk Kompos Terhadap pH Tanah	71
4.2.4 Pengaruh Perlakuan Biochar Terhadap pH Tanah	87
4.3 Pertumbuhan dan Dinamika Mikroorganisme Tanah	92
4.3.1 Perubahan Pertumbuhan Mikroorganisme Setiap Minggu	92
4.3.2 Perbandingan Pertumbuhan Mikroorganisme Antar Perlakuan.....	97
4.3.3 Analisis Kinetika Pertumbuhan Mikroorganisme	98
4.3.4 Hubungan Pertumbuhan Mikroorganisme dengan Perbaikan Tanah.....	110
4.4 Perubahan pH Tanah terhadap Waktu.....	111
4.4.1 Gambaran Umum Perubahan pH Tanah	111
4.4.2 Konstanta Laju Reaksi (k) dan Koefisien Determinasi (R²)	113
4.4.3 Tabel Perubahan pH Tanah Selama 12 Minggu	114
4.4.4 Analisis Peningkatan pH Tanah	114
4.4.5 Grafik Perubahan pH terhadap Waktu	117
4.4.6 Implikasi Teknik Kimia terhadap Mekanisme Kenaikan pH.....	119
4.4.7 Dinamika pH Terhadap Waktu	120
4.4.8 Mekanisme Pengaruh Waktu Terhadap Peningkatan pH Tanah.....	123
4.5 Analisis Kinetika Perubahan Tanah	127
4.5.1 Pola Perubahan pH Selama Masa Inkubasi.....	127
4.5.2 Nilai Konstanta Laju Kinetika (k).....	129
4.6 Pertumbuhan Tanaman Jagung sebagai Indikator.....	130
4.6.1 Tinggi Tanaman	131
4.6.2 Jumlah Daun	131
4.6.3 Biomassa Kering Tanaman	132
4.6.4 Hubungan Perubahan pH Dengan Kualitas Tanah dan Pertumbuhan Tanaman.....	133

4.7 Analisis Perbandingan Efektivitas Perlakuan dalam Memperbaiki Tanah pH 3.....	138
4.7.1 Perubahan pH sebagai Indikator Utama Perbaikan Tanah Masam.....	138
4.7.2 Perubahan Sifat Kimia: N, P, K, KTK dan C-Organik.....	139
4.7.3 Perubahan Sifat Fisika Tanah	140
4.7.4 Perubahan Sifat Biologi Tanah	140
4.7.5 Keberhasilan Bioremediasi Tanah pH 3	141
4.8 Analisis Kinetika Orde Pertama Peningkatan pH Tanah	142
4.8.1 Data Perubahan pH Tanah	143
4.8.2 Pupuk Kandang	144
4.8.3 Kompos	145
4.8.4 Biochar	146
4.9 Analisis Statistik Perubahan pH Tanah.....	147
4.9.1 Data Rataan pH Tanah Minggu ke-12	147
4.9.2 Analisis Ragam (ANOVA)	148
4.9.3 Uji Lanjut Duncan (DMRT).....	149
4.9.4 Uji LSD (Least Significant Difference)	150
4.9.5 Implikasi Agronomis.....	152
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	155
5.1 Kesimpulan	155
5.2 Saran.....	156
DAFTAR PUSTAKA	157
LAMPIRAN.....	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Setpond Lama OPD3	12
Gambar 2.2	Kerangka Penelitian Bioremediasi dan Reklamasi Lahan Bekas Tambang Batubara	25
Gambar 3.1	Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian	26
Gambar 3.2	Lahan Reklamasi	28
Gambar 3.3	Eks Situ Bioremediasi	37
Gambar 3.4	Alur Perhitungan Efisiensi Penurunan Logam Berat	40
Gambar 3.5	Algoritma Analisis Data Penelitian.....	55
Gambar 4.1	Karakterisasi Tanah a). Tanah Sebelum Perlakuan, b). Setelah Pupuk Kandang, c). Setelah Pupuk Kompos, d). Setelah Biochar	58
Gambar 4.2	Perubahan Kimia Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Organik.....	60
Gambar 4.3	Perubahan Fisika Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Organik	62
Gambar 4.4	Perubahan Biologi Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Organik.....	64
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Pupuk Kandang Terhadap pH Tanah.....	71
Gambar 4.6	Perubahan N _{total} Setelah Perlakuan Kompos.....	72
Gambar 4.7	Perubahan P _{Tersedia} Setelah Perlakuan Kompos.....	74
Gambar 4.8	Perubahan K _{Tersedia} Setelah Perlakuan Kompos.....	75
Gambar 4.9	Perubahan KTK Setelah Perlakuan Kompos	77
Gambar 4.10	Perubahan Mikroba Setelah Perlakuan Kompos.....	79
Gambar 4.11	Perubahan Porositas Setelah Perlakuan Kompos	83
Gambar 4.12	Perubahan Bulk Density Setelah Perlakuan Kompos	85
Gambar 4.13	Grafik Perubahan pH tanah Setelah Perlakuan Biochar	88
Gambar 4.14	Mekanisme Proses Biochar	91
Gambar 4.15	Pertumbuhan Mikroorganisme Pada Tiga Perlakuan.....	106
Gambar 4.16	Grafik Perubahan Tanah Masam	117
Gambar 4.17	Perubahan pH Tanah Selama 12 Minggu Inkubasi pada Berbagai Jenis dan Dosis Bahan Organik	117
Gambar 4.18	Dinamika pH Terhadap Waktu Setelah Perlakuan Pemberian Pupuk Organik	120

Gambar 4.19 Grafik Mekanisme Pengaruh Waktu Terhadap Peningkatan pH Tanah.....	123
Gambar 4.20 Pemantauan Tanaman Usia 1 Minggu setelah masa inkubasi pH tanah	133
Gambar 4.21 Hubungan pH Tanah dengan Biomassa Tanaman	136
Gambar 4.22 Hubungan pH Tanah dengan Tinggi Tanaman	137
Gambar 4.23 Grafik ini Menunjukkan Perbandingan Efektivitas Ketiga Perlakuan Terhadap Berbagai Parameter (Δ pH, N, P, K, KTK, porositas, mikroba).....	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2	Kandungan Pupuk Organik	15
Tabel 2.3	Perbandingan Beberapa Parameter Tanah antara Lahan Revegetasi dengan Berbagai Umur dan Hutan Alami	18
Tabel 3.1	Operasional Variabel Penelitian (untuk 3 pot / 40kg).....	31
Tabel 3.2	Langkah-langkah penelitian	38
Tabel 4.1	Kondisi Awal Kimia Tanah Sebelum Perlakuan	58
Tabel 4.2	Perubahan Sifat Kimia Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Kandang, Pupuk Kompos dan Biochar	59
Tabel 4.3	Perubahan Sifat Fisika Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Kandang, Pupuk Kompos dan Biochar	61
Tabel 4.4	Perubahan Sifat Biologi Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Kandang, Pupuk Kompos dan Biochar	64
Tabel 4.5	Perubahan pH Tanah Setelah Perlakuan Pupuk Kandang Selama 12 Minggu Inkubasi	66
Tabel 4.6	Rataan NPK pada Minggu Terakhir Inkubasi (M12).....	70
Tabel 4.7	Perubahan pH Tanah Selama Inkubasi	88
Tabel 4.8	Data Pertumbuhan Mikroorganisme Biochar.....	92
Tabel 4.9	Data Pertumbuhan Mikroorganisme Kompos.....	93
Tabel 4.10	Data Pertumbuhan Mikroorganisme Pupuk Kandang.....	93
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan	99
Tabel 4.12	Konstanta Kinetika.....	113
Tabel 4.13	Perubahan pH Tanah selama 12 Minggu	114
Tabel 4.14	Nilai Konstanta Laju Reaksi Terhadap Perubahan tanah.....	129
Tabel 4.15	Tinggi Tanaman Jagung pada Akhir Percobaan	131
Tabel 4.16	Jumlah Daun Tanaman Jagung	131
Tabel 4.17	Biomassa Kering Tanaman Jagung.....	132
Tabel 4.18	Perubahan pH Tanah Akibat Perlakuan Organik (0–12 Minggu)...	143
Tabel 4.19	Perhitungan Waktu Paruh ($t_{1/2}$) Peningkatan pH Tanah	143
Tabel 4.20	Perhitungan Waktu Paruh ($t_{1/2}$) Peningkatan pH Tanah	144
Tabel 4.21	Nilai $\ln (\Delta pH_0 / \Delta pH_t)$ dari Minggu 0–12	144

Tabel 4.22	Rataan pH Tanah Pada Minggu ke-12 Untuk Setiap Perlakuan	147
Tabel 4.23	Ringkasan ANOVA pH Tanah Minggu ke-12.....	148
Tabel 4.24	Hasil uji Duncan (DMRT) pH Tanah Minggu ke-8.....	149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	TPC ISO 4833 Format Laboratorium	160
Lampiran 2	Data N P K KTK Setiap Minggu	162
Lampiran 3	Perhitungan Respirasi CO ₂	163
Lampiran 4	Perhitungan Biomassa Mikroba	164
Lampiran 5	Tahap 1	165
Lampiran 6	Bioremediasi	166
Lampiran 7	Tahap 3	168
Lampiran 8	Analisis Statistik Bioremediasi	170

DAFTAR NOTASI

FeS_2	= pirit
H^+	= ion hidrogen
Al^{3+}	= Kation aluminium yang memiliki muatan +3
Fe^{2+}	= ion fero
pH	= <i>potential of hydrogen</i>
N	= nitrogen
P	= fosfor
K	= kalium
Pb-Zn	= Plumbun-Zeng
CO_2	= Karbon dioksida
H_2SO_4	= Asam Sulfat