UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Imobilisasi Pb Lapisan Overburden Tambang Batubara Menggunakan Zeolit dan Kalium Humat dengan Sawi Hijau sebagai Bioindikator
Aurora Madania Khusnul, Dr. Ir. Eko Hanudin, M.P., IPU., ASEAN Eng. ; Dr. Agr. Cahyo Wulandari, S.P., M.P.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xi
INTISARI xii
ABSTRACT ii
I. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Keaslian Penelitian 5
II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 8
2.1 Tinjauan Pustaka 8
2.1.1 Aktivitas pertambangan batubara 8
2.1.2 Ultisol 9
2.1.3 Timbal (Pb) pada tanah: sifat dan dampaknya terhadap tanaman 10
2.1.4 Remediasi tanah dan mekanisme imobilisasi logam berat 12
2.1.5 Zeolit: Karakteristik dan Mekanisme Imobilisasi Pb 14
2.1.6 Kalium humat: Karakteristik dan Mekanisme Khelasi Pb 17
2.1.7 Sawi Hijau (Brassica juncea L.) 19
2.2 Kerangka Berpikir 22
III. METODE PENELITIAN 23
3.1 Bahan dan Alat Penelitian 23
3.2 Waktu dan Tempat 23
3.3 Prosedur Penelitian 23
3.4 Pengamatan/Pengumpulan Data 28
3.5 Analisis Data 31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Karakteristik Tanah Awal 33
4.2 Karakteristik Zeolit 38

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Imobilisasi Pb Lapisan Overburden Tambang Batubara Menggunakan Zeolit dan Kalium Humat dengan Sawi Hijau sebagai Bioindikator
Aurora Madania Khusnul, Dr. Ir. Eko Hanudin, M.P., IPU., ASEAN Eng. ; Dr. Agr. Cahyo Wulandari, S.P., M.P.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3 Karakteristik Kalium Humat 40
4.4 Pengaruh Aplikasi Zeolit dan Kalium Humat terhadap Sifat Kimia Tanah 42
4.4.1 pH H_2O 44
4.4.2 pH KCl 45
4.4.3 Karbon Organik (C-Organik) 47
4.4.4 Kapasitas Pertukaran Kation (KPK) 49
4.4.5 Kation Tertukar 51
4.4.6 Nitrogen Total (N-Total) 57
4.4.7 Fosfor Tersedia (P-Tersedia) 59
4.4.8 Aluminium Dapat Ditukar (Al-dd) 60
4.4.9 Pirit (FeS_2) 63
4.4.10 Timbal Total (Pb-Total) 64
4.4.11 Timbal Tersedia (Pb-Tersedia) 66
4.5 Pengaruh Aplikasi Zeolit dan Kalium Humat terhadap Karakteristik Sawi Hijau 69
4.6.1 Tinggi Tanaman 70
4.6.2 Jumlah Daun 71
4.6.3 Volume Akar 73
4.6.4 Berat Segar Akar 75
4.6.5 Berat Segar Tajuk 76
4.6.6 Berat Kering Akar 78
4.6.7 Berat Kering Tajuk 80
4.6.8 Rasio Berat Kering Tajuk dan Akar 81
4.6 Kadar dan Serapan Pb Sawi Hijau 83
4.6.1 Kadar dan Serapan Pb pada Akar 84
4.6.2 Kadar dan Serapan Pb pada Tajuk 86
4.6.3 Total Kadar dan Serapan Pb pada Biomassa 88
4.7 Efektivitas Remediasi 90
4.7.1 Efektivitas Imobilisasi 92
4.7.2 *Translocation Factor* (TF) 93
4.7.3 *Bioconcentration Factor* (BCF) Akar 95
4.7.4 *Bioconcentration Factor* (BCF) Tajuk 96
4.8 Hubungan Sifat Kimia Tanah, Pb-Tersedia Tanah, dan Total Serapan Pb 98
4.9 Pengaruh Sifat Kimia Tanah terhadap Pb-Tersedia 102
4.10 Pengaruh Sifat Kimia Tanah terhadap Biomassa Sawi Hijau 107

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Imobilisasi Pb Lapisan Overburden Tambang Batubara Menggunakan Zeolit dan Kalium Humat dengan Sawi Hijau sebagai Bioindikator
Aurora Madania Khusnul, Dr. Ir. Eko Hanudin, M.P., IPU., ASEAN Eng. ; Dr. Agr. Cahyo Wulandari, S.P., M.P.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V. KESIMPULAN DAN SARAN 112
5.1 Kesimpulan 112
5.2 Saran 112
DAFTAR PUSTAKA 113
LAMPIRAN 128