

TANAH REKLAMASI BEKAS TAMBANG NIKEL

Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya

Risma Neswati
Andi Subhan Mustari
Aris Prio Ambodo
Yohan Lawang
Andri Ardiansyah
Ahmad Fauzan Adzima



Kerjasama
Pusat Unggulan Teknologi Center of Technology
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
dengan
PT. Vale Indonesia Tbk.



TANAH REKLAMASI BEKAS TAMBANG NIKEL

Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya

**Risma Neswati
Andi Subhan Mustari
Aris Prio Ambodo
Yohan Lawang
Andri Ardiansyah
Ahmad Fauzan Adzima**



**Kerjasama
Pusat Unggulan Teknologi Center of Technology
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
dengan
PT. Vale Indonesia Tbk.**







TANAH REKLAMASI BEKAS TAMBANG NIKEL

Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya

Penulis

Risma Neswati
Andi Subhan Mustari
Aris Prio Ambodo
Yohan Lawang
Andri Ardiansyah
Ahmad Fauzan Adzima

ISBN: 978-602-5522-45-1

Kerjasama



Pusat Unggulan Teknologi Center of Technology
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
dengan
PT. Vale Indonesia Tbk.

Diterbitkan oleh

CV. Social Politic Genius (SIGn)
Jl. Muh. Jufri No. 1, Makassar 90215
082291222637
sign.institute@gmail.com

www.penerbitsign.com | www.bibliografi.penerbitsign.com

Cetakan Pertama, Agustus 2020
xviii + 142 hlm.; 15 cm x 24 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.



Prakata

No soil no life. Tanah memberi kehidupan bagi makhluk yang hidup di dalam dan di atasnya. Untuk itu, tanah harus tetap dijaga dan dilestarikan.

Tanah berasal dari batuan induk yang telah mengalami proses pelapukan. Proses pembentukan tanah ini melalui beberapa tahapan, yang diawali dari proses pelapukan yang berlangsung terus menerus sampai bahan induk tanah bisa berubah menjadi tanah. Tanah yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang akan membedakan antara satu tanah dengan tanah yang lainnya. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik fisik, kimia kesuburan, biologi dan mineralogi tanah.

Tanah bekas tambang (*post-mining soil*) adalah tanah sisa hasil dari kegiatan pertambangan dan sangat jarang ditemukan horizon tanah asli. Kebanyakan tanah yang dikembalikan telah bercampur dan membentuk horizon baru yang mungkin sulit dikenali batasnya. Kendala seperti pemadatan tanah, kesuburan tanah rendah, populasi mikroorganisme berguna yang berkurang, dan terjadinya pencemaran logam-logam berat dalam tanah. Dampak tersebut memungkinkan lahan menjadi tidak optimal untuk digunakan kembali sehingga diperlukan tindakan perbaikan yang dikenal dengan reklamasi lahan bekas tambang yang bertujuan memperbaiki atau menata kegunaan lahan yang terganggu sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan agar dapat berfungsi dan berdaya guna sesuai peruntukannya.

Kendala sifat fisik, kimia dan kesuburan tanah bekas tambang nikel masih dapat diatasi dengan teknologi tanah baik secara kimiawi-biologi, vegetatif dan mekanik sehingga kualitas tanah menjadi lebih optimal untuk upaya pengembalian keanekaragaman hayati lahan

reklamasi. Lahan reklamasi bekas tambang nikel berpotensi untuk pengembangan tanaman kayu dan non-kayu jika kualitas tanah diperbaiki dengan tindakan konservasi tanah dan air & pemupukan yang tepat serta pemilihan tanaman yang sesuai dengan kondisi biofisik lahan.

Semoga buku ini memberi manfaat sebesar-besarnya untuk upaya pengembalian keanekaragaman hayati dan pencapaian *sustainability* di lahan reklamasi bekas tambang nikel.

Tim Penulis

Pengantar



Luangkan waktu sejenak dan amati benda-benda di sekeliling. Mulai dari perkakas elektronik di rumah, peralatan makan yang dipakai setiap hari, semen dan beton yang melapisi rumah dan jalan raya, jembatan yang membentang, kendaraan, hingga layar ponsel dan komputer yang sedang Anda tatap, seluruhnya terbuat dari material tambang. Dunia dan peradaban kita bergantung pada produk-produk penambangan modern. Bergantung pada logam dan mineral yang diolah dari sumber daya alam.

Industri pertambangan mendukung kehidupan saat ini sekaligus krusial di masa depan seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia terhadap teknologi canggih, kendaraan listrik, atau perjalanan komersial ke luar angkasa. Sehingga tidak berlebihan jika kita katakan: Tidak akan ada masa depan tanpa tambang. Namun jika digali lebih jauh, kalimat lengkapnya adalah: Tidak akan ada masa depan tanpa tambang dan tidak akan ada pertambangan tanpa kepedulian terhadap masa depan.

PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale), salah satu perusahaan pertambangan bijih nikel di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, telah beroperasi lebih dari 50 tahun dan selalu berkomitmen untuk menerapkan prinsip tersebut. **Misi PT Vale adalah mengubah sumber daya alam menjadi kemakmuran dan pembangunan berkelanjutan.** Bagi kami, penerapan prinsip penambangan yang baik (*good mining practices*) bukanlah sekadar pemenuhan kewajiban. Lebih dari itu. *Sustainability is our core value.*

Salah satu aspek dalam penerapan *good mining practices* adalah kegiatan reklamasi lahan bekas tambang sebagai upaya untuk memulihkan fungsi-fungsi lahan yang menyangga ekosistem selanjutnya, seperti daya dukung lahan, tata air, fungsi ekologi, dan sebagainya. Tolok ukur keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang salah satunya dapat dilihat dari kondisi tanah. Diharapkan seiring berjalannya waktu, kondisi tanah yang terdegradasi sebagai dampak kegiatan penambangan secara berangsur dapat pulih kembali dan menopang kehidupan di atasnya secara lestari.

Dalam upaya meningkatkan keberhasilan reklamasi, PT Vale senantiasa bekerja sama dengan akademisi dari berbagai universitas di Indonesia untuk melakukan kajian dan penelitian. Buku ini merupakan salah satu hasil kerja sama penelitian dengan *Center of Technology (CoT)* Universitas Hasanuddin terkait kondisi tanah pada area reklamasi dari waktu ke waktu dan melihat potensi-potensi perbaikan yang dapat dilakukan di masa mendatang.

Akhir kata, saya sampaikan terima kasih dan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi terbaik dalam penyusunan buku ini. Semoga karya pustaka ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkecimpung dalam penerapan *good mining practices*, khususnya kegiatan reklamasi lahan bekas tambang.



Salam tambang hijau,

Nico D. Kanter

Presiden Direktur & CEO PT Vale Indonesia Tbk.

Pengantar



Assalamualaikum Wr. Wb., syukur Alhamdulillah kita panjatkan kehadiran Allah SWT dengan terbitnya buku Tanah Reklamasi Bekas Tambang Nikel kerjasama antara **PT. Vale Indonesia Tbk** dan **Pusat Unggulan Teknologi - Center of Technology (Puslantek-CoT)**. Buku ini adalah hasil penelitian Tim Puslantek-CoT untuk kerja sama dalam bidang Survey Pemantauan dan Formulasi Strategi Konservasi Keanekaragaman Hayati dalam Wilayah Kontrak Karya PT Vale Indonesia Tbk, Pembuatan Sistem Informasi Database Pembibitan (*Nursery*) dan Analisa Tanah Lahan Reklamasi.

Tanah bekas tambang merupakan lahan sisa hasil dari kegiatan pertambangan. Salah satu kegiatan pertambangan yang banyak mempengaruhi morfologi permukaan dan tanah menjadi padat akibat alat berat adalah tambang dengan teknik terbuka. Dampak tersebut memungkinkan lahan menjadi tidak optimal untuk digunakan kembali. Berbagai upaya dilakukan dalam mengendalikan hal tersebut salah satunya yaitu memodifikasi dan mengoptimalkan tanah bekas tambang. Kami sangat berharap buku ini dapat memberikan pemahaman tentang tanah bekas tambang dan pemamfaatannya untuk masyarakat utamanya kegiatan yang memiliki dampak yang baik untuk perekonomian masyarakat seperti pertanian. Pengetahuan tentang karakteristik, potensi, kendala, dan pengelolaanya akan sangat bermanfaat untuk bisa meningkat potensi yang dimiliki oleh Tanah Bekas Tambang yang selama ini selalu menjadi momok untuk permasalahan lingkungan.

Terima kasih kami ucapkan kepada PT. Vale Indonesia Tbk atas kepercayaannya kepada Puslantek-CoT, mudah-mudahan kerjasama antara PT. Vale Indonesia Tbk dengan Puslantek-CoT akan selalu terjalin dan bisa menghasilkan kerja sama yang hasilnya mendukung pembangunan Indonesia yang berkelanjutan. Demikian juga kepada tim penyusun atas usaha dan kerja kerasnya sehingga terwujud buku Tanah Bekas Tambang ini. Kami menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penerbitan buku ini, oleh karena itu saran dan kritik untuk perbaikan buku ini sangat diharapkan.



Dr. Eng. Ir. Nasruddin, ST, MT.

Kepala Puslantek-CoT Universitas Hasanuddin



Daftar Isi

Prakata..... vi

Pengantar

Presiden Direktur & CEO PT Vale Indonesia Tbk. viii
Kepala Puslantek-CoT Universitas Hasanuddin x

Daftar

Isi..... xii
Tabel..... xiv
Gambar xv

Bagian 1. Apakah Tanah Bekas Tambang Itu?

1.1. Definisi Tanah Bekas Tambang 2
1.2. Sebaran Tanah Bekas Tambang Nikel di Indonesia..... 4

Bagian 2. Karakteristik Terrain (Medan) Lahan Bekas Tambang Nikel

2.1. Lereng..... 9
2.2. Drainase 12
2.3. Batuan Permukaan..... 14
2.4. Kedalaman Tanah 16

Bagian 3. Karakteristik Fisik Tanah Bekas Tambang Nikel

3.1. Pendahuluan.....	21
3.2. Tekstur Tanah	23
3.3. Struktur Tanah dan Agregasi.....	26
3.4. Warna Tanah	32
3.5. Bobot Isi dan Porositas Tanah.....	36
3.6. Permeabilitas Tanah	41

Bagian 4. Karakteristik Kimia dan Kesuburan Tanah Bekas Tambang Nikel

4.1. Pendahuluan.....	48
4.2. Reaksi Tanah (pH)	49
4.3. C-Organik.....	53
4.4. Kapasitas Tukar Kation	57
4.5. Kejenuhan Basa	60
4.6. Jumlah Hara Makro (Nitrogen, Fosfor & Kalium)	61

Bagian 5. Karakteristik Mineral Tanah Bekas Tambang Nikel

5.1. Pendahuluan.....	66
5.2. Mineral Primer	66
5.3. Mineral Sekunder	72
5.4. Tipe Pori dan Pedofeature.....	76

Bagian 6. Karakteristik Biologi Tanah Bekas Tambang Nikel

6.1. Pendahuluan	84
6.2. Makro-Organisme Tanah.....	84
6.3. Kelimpahan Arbuscular Mycorrhiza (AM)	85

Bagian 7. Potensi dan Kendala Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Nikel

7.1. Potensi Tanah Bekas Tambang.....	94
7.2. Kendala Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Nikel	96

*Bagian 8. Pengelolaan Tanah Pasca Tambang Nikel
yang Berkelanjutan*

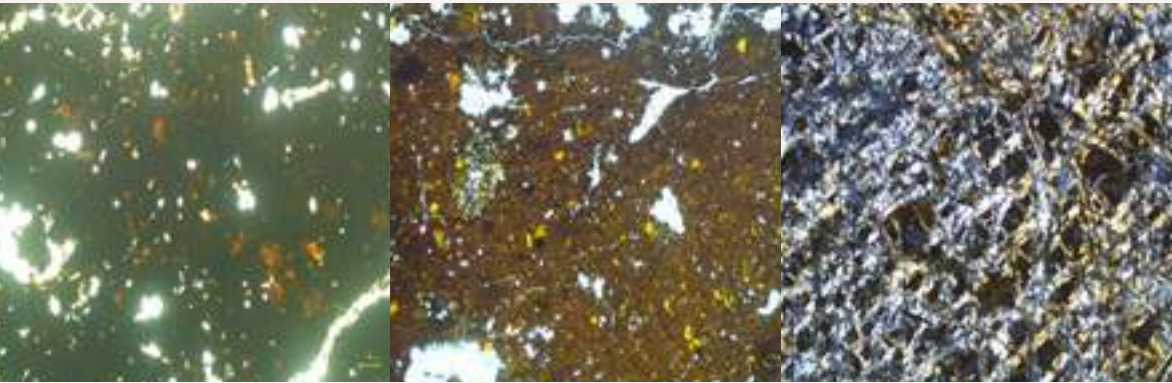
8.1. Pendahuluan.....	102
8.2. Fitoremediasi.....	102
8.3. Bioremediasi.....	108
8.4. Pemanfaatan Cacing Tanah Endogaesis untuk Biorehabilitasi Lahan Bekas Penambangan Terbuka	112
8.5. Pemanfaatan Tanaman Legum sebagai Tanaman Pionir Revegetasi Lahan Bekas Penambangan Terbuka	113
8.6. Penggunaan Mineral Zeolite	114
8.7. Pemupukan Berimbang Tanaman Non-Kayu di Tanah Bekas Tambang Nikel	116
<i>Tentang Penulis.....</i>	<i>133</i>

Daftar Tabel

Tabel 1	Kelas Kemiringan Lereng Lahan Bekas Tambang PT Vale, Sorowako.....	10
Tabel 2	Kelas Kemiringan Lereng Lahan Tambang PT Antam, UBPN Pomalaa.....	11
Tabel 3	Kisaran Bobot Isi Tanah Hutan dan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako	40
Tabel 4	Kisaran Nilai Ruang Pori Total Tanah Hutan dan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako	40
Tabel 5	Kandungan C-Organik (%) Tanah Berbagai Umur Reklamasi di Lahan Bekas Tambang Nikel dan Hutan .	55
Tabel 6	KTK Berbagai Koloid Tanah.....	58
Tabel 7	Nilai Rata-Rata KTK Tanah di Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako, Sulawesi Selatan.....	59
Tabel 8	Mikroskopis Mineral Primer dan Mikromorfologi Tanah Bekas Tambang Nikel Sorowako	69
Tabel 9	Hasil Analisis FTIR Tanah Bekas Tambang Nikel Sorowako	73
Tabel 10	Alternatif Penggunaan Lahan untuk Lahan Bekas Tambang.....	95
Tabel 11	Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Rambutan	117
Tabel 12.	Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Mangga	120
Tabel 13.	Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Pala	124
Tabel 14.	Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Durian	126
Tabel 15.	Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Manggis	128

Daftar Gambar

Gambar 1	Distribusi Ofiolit di Kawasan Timur Indonesia.....	4
Gambar 2	Sebaran Lahan Tambang Nikel yang Berpotensi Menjadi Lahan Bekas Tambang	5
Gambar 3	Peta Kemiringan Lereng Lahan Bekas Tambang PT Vale.....	10
Gambar 4	Peta Kelas Drainase PT Vale, Sorowako	13
Gambar 5	Peta Sebaran Persentase Batuan Permukaan Lahan Bekas Tambang PT Vale.....	14
Gambar 6	Batuan Permukaan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel di PT Vale, Sorowako.....	15
Gambar 7	Peta Sebaran Kedalaman Tanah Lahan Bekas Tambang PT Vale.....	16
Gambar 8	Kedalaman Tanah Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel PT Vale	17
Gambar 9	Kedalaman Tanah Penggunaan Lahan Hutan di Area Tambang PT Vale	17
Gambar 10	Bentuk Struktur Tanah	27
Gambar 11	Bentuk Struktur Tanah yang Dominan Ditemui di Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel di Sorowako, Sulawesi Selatan.....	29
Gambar 12	Warna Tanah pada Kondisi Redoksimorfik	33
Gambar 13	Warna Tanah Bekas Tambang Nikel Setelah Reklamasi di Sorowako, Sulawesi Selatan	35
Gambar 14	Warna Tanah Berbagai Umur Lahan Reklamasi di Areal Bekas Tambang Nikel Sorowako, Sulawesi Selatan	35
Gambar 15	Hubungan Total Ruang Pori dengan Permeabilitas Tanah	42



Gambar 16	Kenampakan Mineral Olivin, Piroksin, Biotit, Plagioklas, Opak, Serpentin, dan Kuarsa di Lokasi Penelitian	68
Gambar 17	Olivin (OL).....	71
Gambar 18	Contoh Hasil FTIR Lahan Bekas Tambang	75
Gambar 19	Contoh Hasil FTIR Tanah Hutan	75
Gambar 20	<i>Chanel, Vugh, Planes, dan Packing Void</i>	77
Gambar 21	<i>Pedofeature Amorphous, Pedofeature Depletion, Pedofeature Textural, dan Pedofeature Textural</i>	78
Gambar 22	<i>Fe-Hypocoating, Fe-Coating, Nodule, Konkresi, dan Depletion Fe-Hypocoating</i>	79
Gambar 23	<i>Arbuscular Mycorrhiza</i> Jenis <i>Acaulospora sp1</i>	86
Gambar 24	<i>Arbuscular Mycorrhiza</i> Jenis <i>Acaulospora sp2</i>	87
Gambar 25	<i>Arbuscular Mycorrhiza</i> Jenis <i>Gigaspora sp.</i>	88
Gambar 26	<i>Arbuscular Mycorrhiza</i> Jenis <i>Glomus sp.</i>	89
Gambar 27	<i>Arbuscular Mycorrhiza</i> Jenis <i>Scutelospora sp.</i>	90
Gambar 28	Morfologi Tanaman <i>Scleria Lithosperma, Machaerina Glomerata, Trema Cannabina, Alstonia Macrophylla, dan Scleria Purpurascens</i>	105

Gambar 29 Morfologi Tanaman *Chromolaena Odorata* 106

Gambar 30 Morfologi Tanaman *Weinnmania Fraxinea* dan *Alstonia Macrophyll*..... 107

Gambar 31 Morfologi Tanaman *Alyssum Murale* 107

Gambar 32. Morfologi Tanaman *Phalaris Arundinacea* & *Salix Viminalis*..... 108

Gambar 33 *Bacillus Licheniformis*..... 111

Gambar 34 Zeolit..... 115

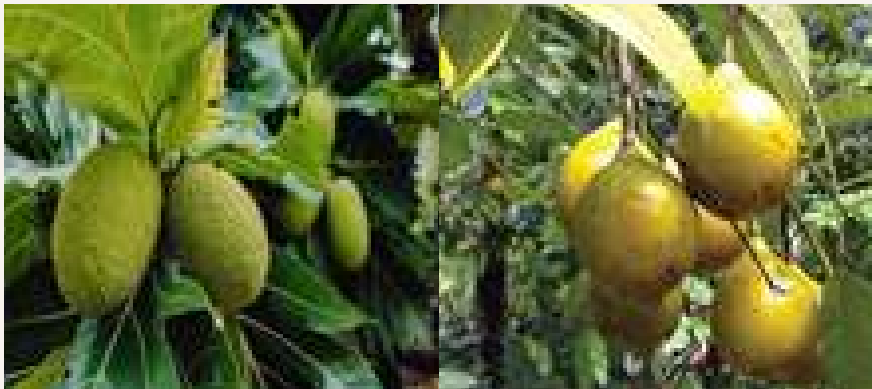
Gambar 35 Morfologi Tanaman Rambutan..... 117

Gambar 36 Morfologi Tanaman Mangga..... 119

Gambar 37 Morfologi Tanaman Pala..... 121

Gambar 38 Morfologi Tanaman Durian 125

Gambar 39 Morfologi Tanaman Manggis 127



Bagian 1

Apakah Tanah Bekas Tambang Itu?



1.1. Definisi Tanah Bekas Tambang

Sepanjang perjalanan sejarah, manusia telah memodifikasi lingkungan mereka, terutama tanah (Richter & Yaalon, 2012). Penggunaan tanah saat ini lebih banyak digunakan untuk memproduksi makanan atau mengekstraksi bahan untuk tujuan industri (Certini & Scalenghe, 2011; Osman, 2014; Richter *et al.*, 2015; Bender *et al.*, 2016). Kebutuhan masyarakat akan tanah di sektor-sektor strategis seperti pertanian, bangunan/permukiman dan industri pertambangan memberikan gambaran bahwa tanah memiliki peran yang sangat penting dalam proses pemenuhan berbagai kebutuhan manusia baik itu dari segi sandang, pangan maupun papan (Staff, 1975).

Salah satu hal menarik dalam penggunaan tanah dan dicurigai memiliki banyak permasalahan lingkungan adalah kegiatan pertambangan. Kegiatan pertambangan dikenal dengan kegiatan eksplorasi sumber daya alam baik dengan teknik terbuka maupun tertutup. Diantara teknik tersebut, kegiatan penambangan dengan teknik terbuka (*open pit*) lebih banyak memengaruhi morfologi permukaan dan tanah menjadi padat akibat alat berat. Dampak tersebut memungkinkan lahan menjadi tidak optimal untuk digunakan kembali. Berbagai upaya dilakukan dalam mengendalikan hal tersebut salah satunya yaitu memodifikasi dan mengoptimalkan tanah bekas tambang. Tanah bekas tumbang atau biasa disebut lahan bekas tambang (*post-mining land*) merupakan lahan sisa hasil dari kegiatan pertambangan. Pada tanah bekas tambang sangat jarang ditemukan horizon tanah asli. Kebanyakan tanah yang dikembalikan telah bercampur dan membentuk horizon baru yang mungkin sulit dikenali batasnya.

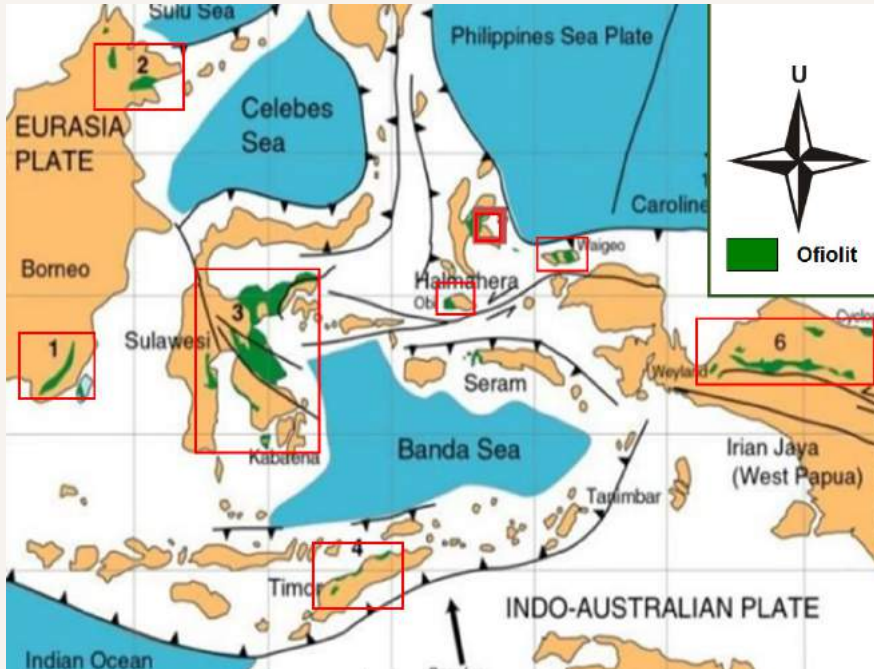


Saat ini, lahan bekas tambang di Indonesia diawasi oleh pemerintah dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara serta Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang. Hal ini memastikan semua lahan bekas tambang di Indonesia harus di reklamasi dan dikembalikan fungsinya. Berdasarkan hal tersebut, lahan bekas tambang diharapkan bisa dimanfaatkan kembali oleh masyarakat, utamanya kegiatan yang memiliki dampak yang baik untuk perekonomian masyarakat seperti pertanian.

1.2. Sebaran Tanah Bekas Tambang Nikel di Indonesia

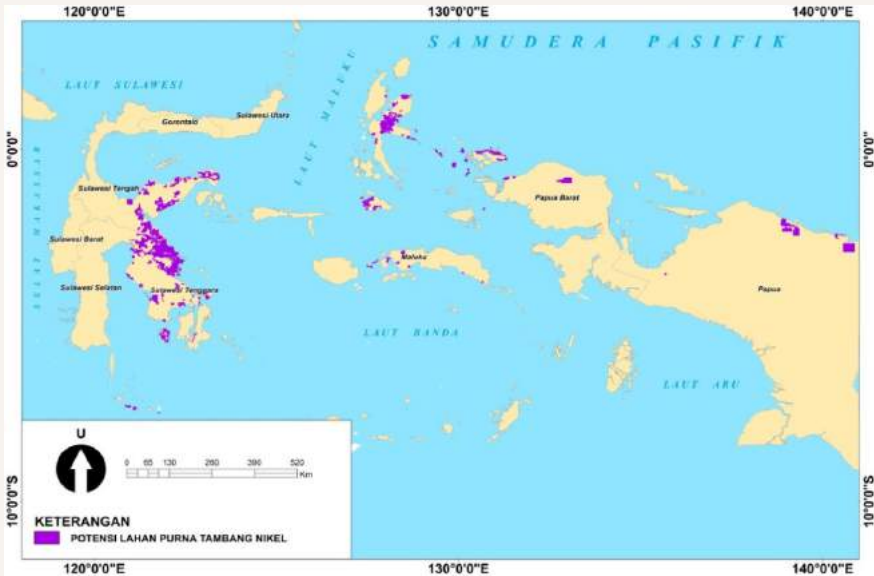
Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya dengan sumber daya mineral. Salah satunya adalah endapan bijih laterit (nikel oksida). Bijih laterit terbentuk di dekat permukaan setelah pelapukan dari batuan ultramafik, dan melimpah di iklim tropis di sekitar khatulistiwa (Elias, 2002). Di Indonesia potensi nikel laterit ini banyak tersebar di Kawasan Timur Indonesia (KTI) (Prasetyo, 2016), dan terdistribusi mengikuti ofiolit yang keterdapatannya sebagai obduksi batuan ultrabasa

(Kadarusman, 2001) (Gambar 1). Karakteristik nikel laterit di Indonesia tergolong ke dalam *metallogenic province*. *Metallogenic province* merupakan suatu area yang memiliki kondisi geologi yang khas dengan ciri adanya kumpulan endapan mineral yang khas pula.



Gambar 1. Distribusi Ofiolit di Kawasan Timur Indonesia (Kadarusman, 2001)

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara (Ditjen Minerba), lahan tambang nikel saat ini dikelola oleh beberapa perusahaan baik luar negeri maupun dalam negeri. Lahan tersebut tersebar di beberapa pulau di Indonesia seperti Pulau Sulawesi (Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara); Pulau Maluku (Maluku, dan Maluku Utara); dan Pulau Papua. Sebaran ini memberikan gambaran seberapa besar area lahan bekas tambang nikel yang akan terbentuk beberapa tahun ke depan (Gambar 2).



Gambar 2. Sebaran Lahan Tambang Nikel yang Berpotensi Menjadi Lahan Bekas Tambang

Lahan bekas tambang dikenal dengan karakteristik lahannya yang banyak dirubah, utamanya keadaan morfologi. Beberapa lokasi yang dapat kita jadikan contoh lahan bekas tambang nikel adalah kompleks pertambangan PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) di Sorowako, Sulawesi Selatan dan Kompleks pertambangan PT Antam di Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Saat ini, kedua perusahaan tersebut baik PT Vale maupun PT Antam masih melakukan aktivitas penambangan nikel di lokasi tersebut.

Daftar Pustaka

- Bender, S. F., Wagg, C., & Heijden, M. G. A. v. d. (2016). An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), hlm. 440-452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- Certini, G. & Scalenghe, R. (2011). Anthropogenic Soils are the Golden Spikes for the Anthropocene. *The Holocene*, 21(8), hlm. 1269-1274. doi: <https://doi.org/10.1177%2F0959683611408454>
- Elias, M. (2002). Nickel Laterite Deposits - Geological Overview, Resources and Exploitation. Dalam *Giant Ore Deposit Workshop*. British Library Conference Proceedings, 4, hlm. 205-220.
- Kadarusman, A. (2001). "Geodynamic Aspects of Indonesian Region: Petrological Approaches". *Disertasi*. Tokyo Institute of Technology, Meguro City.
- Nikel.id. (2020, 13 Januari). Pengusaha Nikel Mogok Produksi, Jangan-Jangan Akibat Pelarangan Ekspor Nih. Dalam *Duniatambang.co.id*. Diakses dari <https://duniatambang.co.id/Berita/read/611/Pengusaha-Nikel-Mogok-Produksi-Jangan-Jangan-Akibat-Pelarangan-Ekspor-Nih>, pada tanggal 4 Agustus 2020.
- Osman, K. T. (2014). *Soil Degradation, Conservation and Remediation*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang. (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 138. Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5172).
- Prasetyo, P. (2016). Sumber Daya Mineral di Indonesia Khususnya Bijih Nikel Laterit dan Masalah Pengolahannya sehubungan dengan UU Minerba 2009. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi: Aplikasi Energi dan Teknologi Maju untuk Kemandirian Bangsa*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, hlm. 1-10.

- Richter, D. d., Bacon, A. R., Brecheisen, Z., & Mobley, M. L. (2015). Soil in the Anthropocene. Dalam *Soil Change Matters 2014*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 25, hlm. 1-11. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/25/1/012010>
- Richter, D. d. & Yaalon, D. H. (2012). "The Changing Model of Soil" Revisited. *Soil Science Society of America Journal*, 76(3), hlm. 766-778. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0407>
- Staff, S. S. (Ed.) (1975). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Wahington D. C.: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 4. Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 1959).

Sumber: *Nikel.id* (2020)





Bagian 2

Karakteristik Terrain (Medan) Lahan Bekas Tambang Nikel

2.1. Lereng

Lereng adalah salah satu aspek morfometri dalam ilmu geomorfologi (Zuidam, 1987). Lereng merupakan aspek yang menonjol di permukaan bumi dan hampir sebagian besar pembentukan berbagai lereng dikontrol oleh faktor iklim, litologi, struktur geologi, sejarah geologi, proses geomorfik, vegetasi, dan manusia (Schumm, 1973). Sebagai gambaran, perbedaan batuan permukaan maka berbeda resistensinya dalam hal melapuk sehingga lereng yang terbentuk baik itu sudut, arah hadap, panjang, dan elevasinya juga berbeda. Begitupula dengan aktivitas manusia dengan tingkat intervensinya yang berdampak terhadap kestabilan lereng sehingga memungkinkan terjadi perubahan morfologi atau bentuk permukaan bumi secara cepat (Adzima *et al.*, 2020).

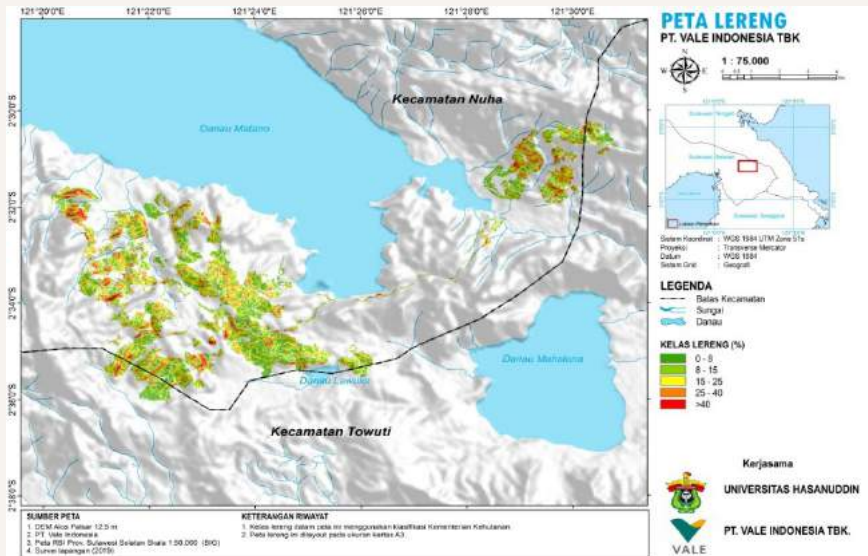
Lereng dalam suatu lanskap yang dibentuk secara alami berbeda umur pembentukannya dibanding lereng yang dibentuk oleh manusia. Pada aktivitas pertambangan, lereng dengan mudah dibentuk sudut, arah hadap, panjang, dan elevasinya. Oleh karena itu, di lahan bekas tambang sangat jarang ditemukan lereng yang terbentuk secara alami dengan luasan yang besar.

Lahan bekas tambang nikel memiliki karakteristik lereng yang bervariasi. Hal ini dapat dilihat pada areal lahan bekas tambang PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) di Sorowako (Gambar 5). Pembentukan lereng di lokasi ini dipengaruhi oleh aktivitas manusia berupa kegiatan penambangan dengan metode terbuka (*open pit*). Hampir seluruh area penambangan telah dirubah morfologinya yang menyebabkan kelas lereng juga ikut berubah. Lahan bekas tambang PT Vale digambarkan sebagai wilayah yang memiliki kemiringan lereng datar (0 – 8%) dengan luas 646.98 ha (22.73%), landai (8 – 15%) seluas 825.09 ha (28.99%), agak curam (15 – 25%) seluas 818.33 ha (28.73%), curam (25 – 40%) seluas 442.57 ha (15,55%), dan sangat curam (> 40%) seluas 113.05 ha (3.97%) (Gambar 3).

Tabel 1. Kelas Kemiringan Lereng Lahan Bekas Tambang PT Vale, Sorowako

Kelas Lereng (%)	Relief	Luas (ha)	Luas (%)
0 – 8	Datar	646.98	22.73
8 – 15	Landai	825.09	28.99
15 – 25	Agak Curam	818.33	28.73
25 – 40	Curam	442.57	15.55
> 40	Sangat Curam	113.05	3.97
Jumlah		2846.02	100.0

Sumber: Analisis Data Spasial (2020)



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Lahan Bekas Tambang PT Vale

Lahan bekas tambang lainnya yang ada di Indonesia yaitu milik PT Antam yang beroperasi di Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Karakteristik lereng wilayah yang ditambang secara umum hampir sama dengan yang ada di PT Vale, Sorowako. Lahan yang ditambang umumnya memiliki lereng datar hingga landai dengan morfologi bergelombang rendah (Kamaruddin *et al.*, 2018; Rahmi & Yulhendra, 2019). Pada Tabel 2, lahan kuasa pertambangan

PT Antam UBPN Pomalaa memiliki topografi datar dengan luas 1375.99 ha (26.29%), topografi landai seluas 1193.03 ha (22.80%), topografi agak curam seluas 1303.78 ha (24.91%), topografi curam seluas 1048.77 ha (20.04%), dan topografi sangat curam seluas 312.04 ha (5.96%).

Tabel 2. Kelas Kemiringan Lereng Lahan Tambang
PT Antam, UBPN Pomalaa

Kelas Lereng (%)	Relief	Luas (ha)	Luas (%)
0 - 8	Datar	1375.99	26.29
8 - 15	Landai	1193.03	22.80
15 - 25	Agak Curam	1303.78	24.91
25 - 40	Curam	1048.77	20.04
> 40	Sangat Curam	312.04	5.96
Jumlah		5233.61	100.0

Sumber: Analisis Data Spasial (2020)

Banyak faktor alami yang dapat memengaruhi kestabilan suatu lereng (Hardiyatmo, 2006). Faktor tersebut bekerja dalam waktu yang begitu lama. Berbeda dengan intervensi manusia yang tidak membutuhkan waktu lama untuk mempercepat proses geomorfologi seperti erosi dan longsor. Proses destruksional lereng seperti pembuatan teras pada dasarnya merupakan suatu teknik konservasi lingkungan. Akan tetapi perlu diketahui syarat untuk melakukan pembuatan teras. Tanpa perencanaan yang baik justru akan mempercepat hilangnya tanah.



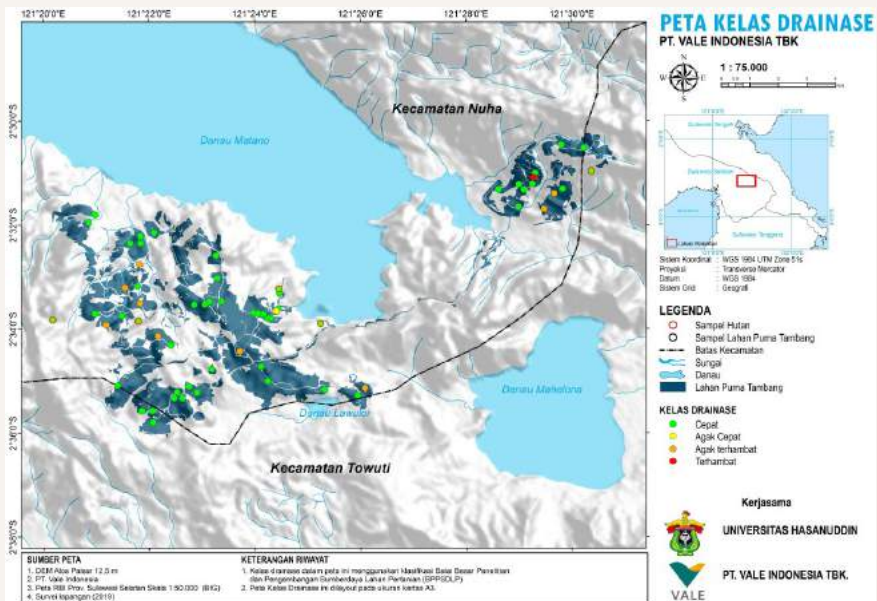
2.2. Drainase

Drainase atau pengatusan merupakan pengaruh laju perkolasi air ke dalam tanah terhadap aerasi udara dalam tanah (Ritung *et al.*, 2011). Kondisi tanah utamanya tekstur tanah memiliki pengaruh terhadap drainase. Tanah dengan tekstur liat memiliki pori dengan ukuran mikro dan didominasi oleh pori kapiler sehingga ketika dalam keadaan jenuh air tidak mudah didrainasekan. Sebaliknya pada tanah yang berpasir, pori tanah bukan masalah yang besar dalam mengatuskan air. Akan tetapi kondisi tanah akan mudah kering sehingga tanaman kekurangan air. Hal ini tentunya didukung juga dengan kondisi lereng.

Pada umumnya, lahan bekas tambang PT Vale didominasi oleh kelas drainase baik. Drainase yang baik berarti tanah tidak

mengalami kondisi tergenang pada saat dilalui air. Menurut *Ritung et al. (2011)*, tanah memiliki kelas drainase baik berarti tanah mempunyai konduktivitas hidrolis sedang dan daya menahan air sedang, lembab, tapi tidak cukup basah dekat permukaan. Tanah demikian cocok untuk berbagai tanaman. Ciri yang dapat diketahui di lapangan adalah warna tanah homogen tanpa bercak atau karatan besi dan/atau mangan serta warna gray (reduksi) pada lapisan sampai ≥ 100 cm.

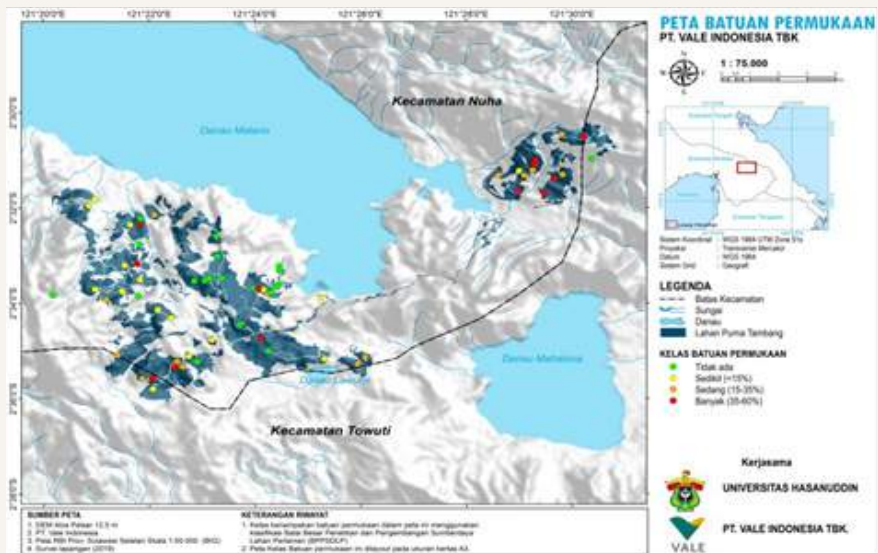
Hasil survei lapang Tim Puslantek-CoT Unhas (2019) menunjukkan bahwa kelas drainase sampel di hutan alami (belum ditambang/sebagai pembanding) dengan sampel lahan bekas tambang secara umum sama, meskipun pada beberapa titik memiliki drainase yang agak terhambat dan terhambat, akan tetapi cakupannya masih kecil yaitu hanya pada titik kolam buatan yang terbentuk akibat aktivitas penambangan.



Gambar 4. Peta Kelas Drainase PT Vale, Sorowako

2.3. Batuan Permukaan

Batuan permukaan adalah volume batuan yang ditemukan atau dijumpai di permukaan tanah (Ritung *et al.*, 2011). Kenampakan batuan permukaan di lahan bekas tambang PT Vale terbagi dalam 4 kelas yaitu tidak ada (0%), sedikit (< 15%), sedang (15 – 35%), dan banyak (35 – 60%) (Gambar 5). Lahan bekas tambang tampak memiliki sebaran batuan permukaan yang didominasi oleh kelas sedikit (< 15%) hingga banyak (35 – 60%). Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas penambangan utamanya yang menggunakan metode *open pit* memberikan pengaruh terhadap kenampakan batuan di permukaan. Proses destruksional berupa pengerukan tanah menyebabkan tanah kehilangan horizon permukaan hingga bawah permukaannya, bahkan dikeruk sampai tampak batuan dasarnya. Hal ini lazim terjadi pada aktivitas penambangan mineral dengan metode *open pit*. Kondisi batuan di permukaan di beberapa titik di areal reklamasi bekas tambang nikel di Sorowako ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Peta Sebaran Persentase Batuan Permukaan Lahan Bekas Tambang PT Vale

Batuan permukaan yang tersebar di beberapa titik dapat mengganggu perakaran tanaman serta mengurangi kemampuan tanah untuk berbagai penggunaan (Hardjowigeno, 2003). Singkapan batuan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Wilayah dengan persentase batuan permukaan atau singkapan batuan yang banyak memungkinkan akar sulit berkembang.

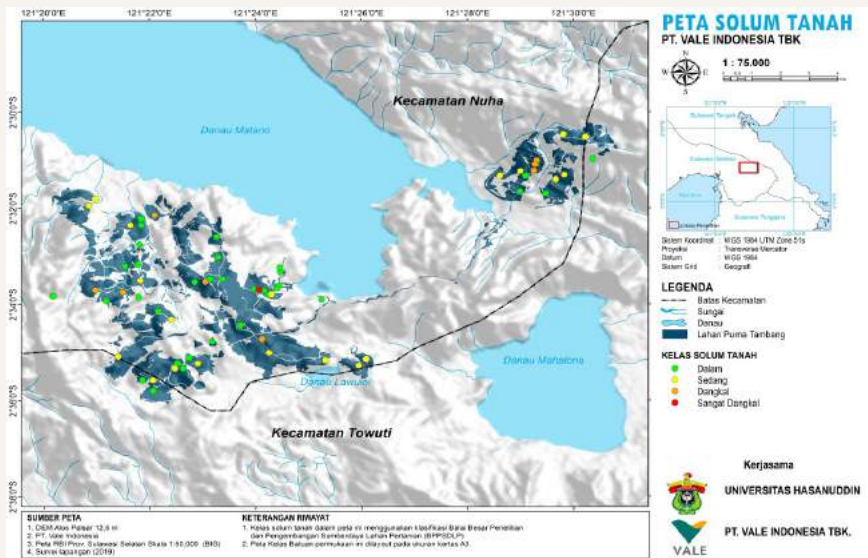


Gambar 6. Batuan Permukaan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel di PT Vale, Sorowako

2.4. Kedalaman Tanah

Kedalaman tanah diartikan sebagai kedalaman lapisan dari permukaan hingga bahan induk tanah. Kedalaman atau jeluk tanah merupakan indikator yang dapat menunjukkan tingkat perkembangan suatu tanah (Rajamuddin, 2009; Sartohadi *et al.*, 2012). Suatu tanah memiliki kedalaman yang dalam (tebal) dikarenakan beberapa faktor seperti proses alih rupa batuan (*transformation*) dan alih tempat (*translocation*).

Secara umum, lahan bekas tambang PT Vale memiliki 4 kelas kedalaman tanah yaitu sangat dangkal, dangkal, sedang dan dalam seperti ditunjukkan pada peta solum tanah (Gambar 7). Kelas kedalaman tanah yang dominan ditemukan adalah kelas dalam dengan kisaran 90 cm sampai 110 cm (Gambar 8). Pada dasarnya lahan bekas tambang PT. Vale Indonesia sebelum dilakukan kegiatan penambangan relatif dalam. Hal ini terlihat dari beberapa profil tanah hutan yang ada di sekitar lahan bekas tambang yang memiliki kedalaman tanah berkisar antara >100 cm sampai >150 cm (Gambar 9).



Gambar 7. Peta Sebaran Kedalaman Tanah Lahan Bekas Tambang PT Vale



Gambar 8. Kedalaman Tanah Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel PT Vale



Gambar 9. Kedalaman Tanah Penggunaan Lahan Hutan di Area Tambang PT Vale



Manusia sebagai pelaku usaha, telah menjadi faktor utama dalam proses percepatan dan perlambatan perkembangan tanah. pengerukan telah menipiskan kedalaman tanah, sementara penimbunan telah mempertebal kedalaman tanah. Tanah yang telah ditimbun masih dimungkinkan untuk dikeruk kembali untuk kepentingan tertentu. Antroturbasi ini memberikan gambaran bahwa tanah yang memiliki kedalaman dalam dengan perkembangan tertentu tidak akan terus berkembang ke tahap akhir selama ada intervensi manusia.



Daftar Pustaka

- Adzima, A. F., Setiawan, M. A., & Mardiatno, D. (2020). Classification of Anthropogenic Landforms in the Rural Area: Study Case Bompon Catchment, Central Java. Dalam *The 3rd Environmental Resources Management in Global Region*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 451, hlm. 1-10. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012039>
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Hardjowigeno, S. (2003). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Kamaruddin, H., Indrakususma, R. A., Rosana, M. F., Sulaksana, N., & Yuningsih, E. T. (2018). Profil Endapan Laterit Nikel di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi, Kementerian ESDM Republik Indonesia*, 13(2), hlm. 84-105.
- Rahmi, F. & Yulhendra, D. (2019). Optimalisasi *Pit Limit* Penambangan Mineral Nikel Laterit PT ANTAM Tbk. Unit Bisnis Penambangan Nikel di *Site* Pomalaa Sulawesi Tenggara di *Front X. Jurnal Bina Tambang, Universitas Negeri Padang*, 4(3), hlm. 294-305.
- Rajamuddin, U. A. (2009). Kajian Tingkat Perkembangan Tanah pada Lahan Persawahan di Desa Kaluku Tinggi Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah. *Agroland, Universitas Tadulako*, 16(1), hlm. 45-52.
- Ritung, S., Nugroho, K., Mulyani, A., & Suryani, E. (2011). *Petunjuk Teknis: Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian* (Edisi Revisi). Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sartohadi, J., Suratman, S., Jamulya, J., & Dewi, N. I. S. (2012). *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Schumm, S. A. (1973). Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems. Dalam *Fluvial Geomorphology, Publications of Geomorphology*, diedit oleh M. Morisawa, (hlm. 299-310). Binghamton: State University of New York.
- Zuidam, R. v. (1987). Reviewed Work: Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping. *The Geographical Journal*, 153(3), hlm. 428-429. doi: <https://doi.org/10.2307/633706>



Bagian 3
**Karakteristik
Fisik Tanah
Bekas Tambang Nikel**

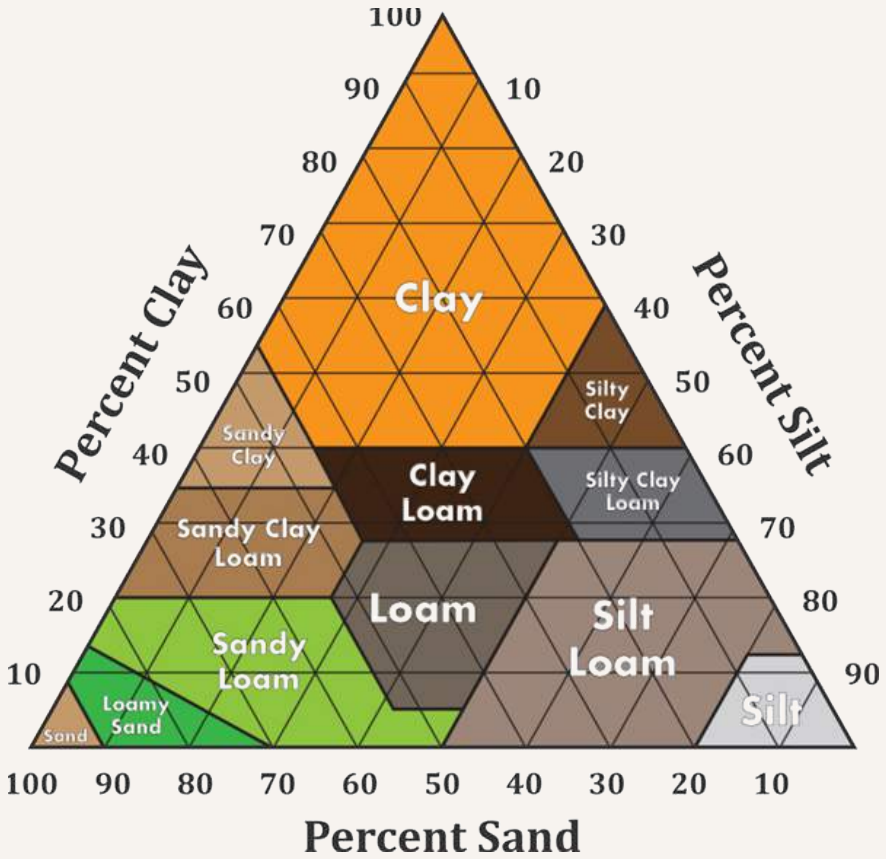


3.1. Pendahuluan

Tanah berasal dari batuan induk yang telah mengalami proses pelapukan. Proses pembentukan tanah ini melalui beberapa tahapan, yang diawali dari proses pelapukan yang berlangsung terus menerus sampai bahan induk tanah bisa berubah menjadi tanah. Tanah yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang akan membedakan antara satu tanah dengan tanah yang lainnya. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik fisik, kimia kesuburan, biologi, dan mineral tanah. Salah satu karakteristik yang penting untuk dikaji adalah karakteristik fisik tanah yaitu karakteristik yang terkait dengan ukuran dan susunan partikel padat, dan bagaimana pergerakan cairan dan gas melalui tanah yang dipengaruhi oleh partikel tanah. Terjadinya perubahan drastis pada sifat fisika pasca kegiatan penambangan merupakan dampak yang sangat serius dan harus segera diatasi. Deskripsi berikut akan menguraikan karakteristik fisik tanah yang penting oleh karena dapat menjadi sinyal bahwa tanah ini tergolong rusak atau marginal.

Tanah memiliki sifat-sifat kimia, biologi dan fisika. Sifat fisik tanah berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Sifat fisik tanah, seperti bobot isi dan kekuatan tanah sudah lama dikenal sebagai parameter utama dalam menilai keberhasilan teknik pengolahan tanah (Afandi, 2005). Sifat fisik tanah juga sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah yang lain dalam hubungannya dengan kemampuannya untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan kemampuan tanah untuk menyimpan air. Sifat fisika tanah telah lama dan secara luas dipahami sebagai salah satu faktor yang sangat menentukan keberhasilan tanaman, namun sampai saat ini perhatian terhadap kepentingan menjaga dan memperbaiki sifat fisik tanah masih sangat terbatas (Damayani, 2008).

Sifat fisik tanah berhubungan dengan kondisi dan pergerakan benda serta aliran energi dalam tanah. Sifat fisika tanah dibentuk oleh empat komponen utama tanah yaitu: partikel-partikel mineral, bahan organik, air dan udara. Perbandingan keempat komponen tersebut sangat bervariasi berdasarkan jenis tanah, lokasi, dan kedalaman. Sifat fisik tanah terbentuk akibat proses pelapukan batuan induk oleh asam-asam organik-anorganik. Pelapukan mineral batuan merupakan proses perubahan permukaan bumi karena terjadi alterasi mineral batuan oleh proses fisika, kimia, dan biologi. Proses ini termasuk dalam proses eksogenik yang terdiri dari pelapukan, erosi, dan pergerakan massa. Pelapukan berperan menyediakan bahan pembentuk tanah. Erosi berpengaruh dominan menghilangkan tanah yang telah terbentuk, serta pergerakan massa mampu menjalankan fungsi pelapukan dan erosi. Mineral yang paling banyak menyusun batuan di kerak bumi adalah mineral primer (pembentuk batuan). Mineral-mineral tersebut terdiri dari mineral yang termasuk dalam grup silikat, yang mempunyai struktur dasar yang sama yaitu silikat tetrahedron. Perbedaan struktur yang menyebabkan perbedaan rumus dan komposisi kimia, ikatan kimia, dan ketahanan terhadap pelapukan. Mineral silikat kecuali kuarsa memiliki sifat seperti senyawa basa karena memiliki pH di atas 7.0. Asam-asam organik yang berperan dalam pelapukan bagian dari bahan organik, merupakan hasil kegiatan jasad hidup yang terdapat di dalam maupun permukaan batuan. Senyawa ini umumnya merupakan hasil transformasi (sekresi, eksudat, dan dekomposisi). Senyawa ini umumnya merupakan hasil transformasi dapat mengalami disosiasi yang melepaskan proton (H^+) sehingga dapat 'menyerang' mineral batuan. Sisa asamnya (anion organik) dapat membentuk senyawa kompleks dengan kation-kation pada tepi mineral atau kation yang terlepas dari mineral.



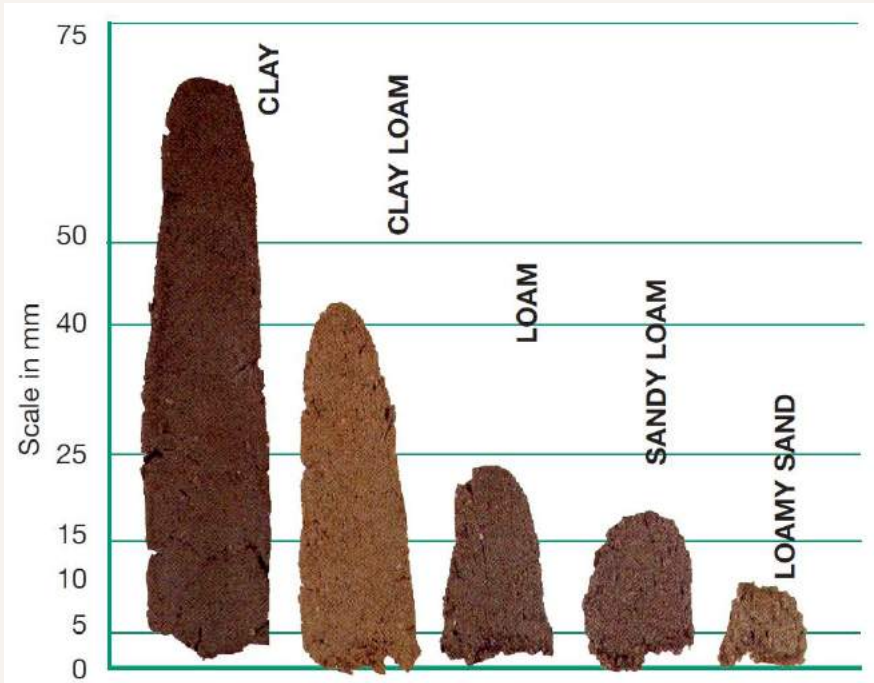
Sumber: Trugreen (2004)

3.2. Tekstur Tanah

Pelapukan dan genesis tanah menyebabkan batuan melapuk, mineral yang terdapat dalam batuan hancur dan membentuk partikel yang ukurannya beragam, mulai dari pasir (2.00 – 0.05 mm), debu (0.05 – 0.002 mm), sampai liat (< 0.002 mm). Ketiga partikel tersebut memengaruhi sifat fisik tanah, seperti: tekstur, struktur, agregat tanah, permeabilitas, aerasi, dan sifat fisik tanah lainnya (Ismangil & Hanudin, 2005).

Tanah-tanah berpasir lebih cepat dapat dilalui air daripada tanah dengan tekstur liat atau lempung berdebu. Tanah-tanah yang

lebih halus dapat bermasalah serius apabila agregat-agregatnya menjadi rusak karena pengolahan yang salah atau karena akumulasi sodium (Na). Hasil penelitian [Nadalia & Pulunggono \(2020\)](#) pada areal reklamasi PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) menunjukkan bahwa tekstur tanah di kedalaman 0 – 10 cm di areal yang telah direklamasi selama 4 tahun tergolong berdebu (*silty*), kedalaman 10 – 20 cm tergolong liat berdebu (*silty clay*), dan kedalaman 20 – 30 cm tergolong lempung liat berdebu (*silty clay loam*). Kondisi ini dapat terjadi karena tanah pada area reklamasi pasca-penambangan bukan profil tanah asli, di mana telah terjadi campuran tanah pucuk (*topsoil*) dan *subsoil*. Tekstur tanah pasca tambang nikel pada kedalaman < 30 cm di lahan yang telah direklamasi selama > 20 tahun tergolong lempung berdebu, sedangkan pada kedalaman > 30 cm tergolong lempung liat berdebu. Tanah yang bertekstur dominan debu menyebabkan porositas tanah menjadi rendah. Porositas tanah sangat penting karena sangat memengaruhi sifat fisik (struktur tanah dan aerasi), kimia tanah (pergerakan unsur hara) dan biologi (aktivitas mikroorganisme tanah) yang akan memengaruhi pertumbuhan tanaman. Tekstur tanah pada lahan reklamasi dipengaruhi oleh material tanah yang digunakan dalam penimbunan pada awal kegiatan reklamasi. Material tanah yang dijadikan timbunan adalah tanah pucuk (*topsoil*) yang diperoleh dari hasil penggalian lapisan bagian atas tanah sebelum penambangan yang dikumpulkan di satu tempat yang disebut *topsoil bank* untuk nantinya digunakan saat penyiapan media tanam kegiatan reklamasi lahan bekas tambang (penataan *topsoil*).



Sumber: Overheu (2019)



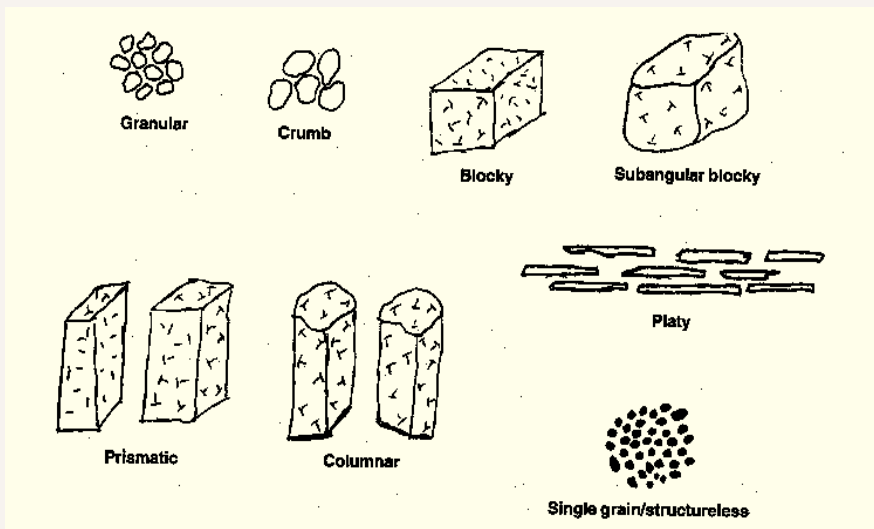


3.3. Struktur Tanah dan Agregasi

Struktur merupakan susunan partikel-partikel dalam tanah yang membentuk agregat-agregat serta agregat satu dengan yang lainnya dibatasi oleh bidang alami yang lemah (Utomo, 1985). Struktur tanah sangat dipengaruhi oleh perubahan iklim, aktivitas biologi, dan proses pengolahan tanah dan sangat peka terhadap gaya-gaya perusak mekanis dan fisika-kimia. Syarief (1989) berpendapat bahwa struktur tanah merupakan suatu sifat fisik yang penting, karena dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, memengaruhi sifat dan keadaan tanah seperti: gerakan air dan aerasi, tata air, pernafasan akar tanaman serta penetrasi akar tanaman

ditentukan oleh struktur tanah. Tanah yang berstruktur baik akan mampu membantu berfungsinya faktor-faktor pertumbuhan tanaman secara optimal, sedangkan tanah yang bertekstur tidak baik menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. [Notohadiprawiro \(1999\)](#) mengemukakan bahwa struktur tanah merupakan susunan keruangan yang membentuk pola keruangan. Menurut [Hillel \(1980\)](#), struktur tanah merupakan penyusunan dan organisasi partikel dalam tanah. Tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam struktur, yaitu: partikel tanah, ruang pori, dan bahan penyemen.

[Buol et al. \(1980\)](#) menyatakan bahwa struktur tanah memiliki sembilan bentuk, yaitu bentuk tunggal (*loose*), pejal (*massive*), lempeng (*platy*), prisma (*prismatic*), tiang (*columnar*), gumpal bersudut (*angular blocky*), gumpal (*sub angular blocky*), granular (*granular*), dan remah (*crumb*) (Gambar 10).



Gambar 10. Bentuk Struktur Tanah ([Buol et al., 1980](#))

[Hillel \(1980\)](#) membagi struktur tanah menjadi tiga bentuk, yaitu: butir tunggal jika partikel tanah tidak saling terikat atau lepas; masif jika partikel tanah terikat kuat pada suatu massa tanah kohesif

yang besar; dan agregat (*ped*) jika partikel tanah terikat tidak terlalu kuat satu sama lain. Struktur agregat merupakan struktur terbaik untuk tanah-tanah pertanian. Pengolahan tanah dilakukan untuk mendapatkan kondisi struktur tanah dengan tipe agregat.

Struktur tanah berpengaruh terhadap kapasitas menahan air, lalu lintas air dan udara di dalam tanah, serta erosi. Struktur tanah yang mantap dengan agregat yang stabil dapat menciptakan aerasi tanah yang baik, mempermudah air meresap, meningkatkan kapasitas infiltrasi, perkolasi, dan menurunkan aliran permukaan sehingga dapat menurunkan nilai erodibilitas tanah (Sinukaban & Rahman, 1983). Tanah-tanah yang memiliki struktur yang mantap tidak mudah hancur oleh pukulan-pukulan air hujan sehingga tahan terhadap erosi. Sebaliknya struktur tanah yang tidak mantap sangat mudah hancur oleh pukulan air hujan menjadi butiran-butiran halus sehingga menutupi pori-pori tanah dan menyebabkan infiltrasi terhambat. Struktur tanah merupakan sifat fisik tanah yang dipengaruhi oleh tekstur, bahan organik, dan zat kimia seperti karbonat di dalam tanah.

Struktur tanah di areal reklamasi lahan bekas tambang nikel Sorowako umumnya berbentuk granular, remah (*crumb*) dan gumpal (*sub-angular blocky*) (Gambar 11). Peningkatan umur reklamasi menunjukkan adanya perkembangan struktur tanah yang masih lemah, sedangkan pada hutan asli didominasi oleh struktur *granular* di bagian lapisan atas, dan *angular blocky* di lapisan bawah. Indeks stabilitas agregat tanah di areal reklamasi bekas tambang nikel Sorowako diklasifikasikan sebagai kriteria yang agak stabil dan kurang stabil (Nadalia & Pulunggono, 2020). Kemungkinan besar hal ini akibat penggunaan alat-alat berat yang menghancurkan agregat yang telah terbentuk baik tanah di bagian atas tanah dan di bagian bawah. Penyebaran kompos di lapisan atas sebagai upaya reklamasi belum mampu meningkatkan stabilitas

agregat sehingga mudah rusak oleh air hujan dan mudah tererosi, terutama pada bagian lahan yang miring sehingga bahan organik tanah akan terkikis dan tanah menjadi padat.



Gambar 11. Bentuk Struktur Tanah yang Dominan Ditemui di Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel di Sorowako, Sulawesi Selatan

3.3.1. Faktor yang Memengaruhi Kemantapan Agregat

Kemantapan agregat menggambarkan kemampuan agregat untuk dapat bertahan terhadap faktor-faktor perusak. Kemantapan agregat terbagi dua menurut faktor perusak yaitu kemantapan agregat kering adalah kemampuan agregat bertahan terhadap daya perusak yang berasal dari gaya-gaya mekanis sedangkan kemantapan agregat basah (*Agregat Water Stability*) merupakan manifestasi ketahanan agregat terhadap daya rusak air (Utomo, 1985). Nadler *et al.* (1996) mendefinisikan kemantapan agregat sebagai kemampuan agregat untuk tidak rusak ketika dipengaruhi oleh kekuatan pengganggu, memelihara keutuhan ukuran dengan kekuatan ikatan antar agregat. Kemantapan agregat dapat berbeda-beda pada setiap jenis tanah. Perbedaan dalam kemantapan agregat menurut Buckman & Brady (1982) berhubungan dengan ada tidaknya zat pengikat tertentu. Senyawa organik merupakan salah satu yang memiliki sifat-sifat pemantap. Senyawa organik

yang memiliki efek merekat atau mengikat sehingga dapat meningkatkan kemantapan butir-butir tanah yaitu oksida besi. *Baver et al. (1976)* mengemukakan bahwa tanah dalam bentuk koloid lebih banyak berperan dalam pembentukan agregat yang mantap. Faktor yang memengaruhi pembentukan agregat:

1. Bahan Induk

Variasi penyusun tanah tersebut memengaruhi pembentukan agregat-agregat tanah serta kemantapan yang terbentuk. Kandungan liat menentukan dalam pembentukan agregat, karena liat berfungsi sebagai pengikat yang diabsorpsi pada permukaan butiran pasir dan setelah dehidrasi tingkat reversiblenya sangat lambat. Kandungan liat $> 30\%$ akan berpengaruh terhadap agregasi, sedangkan kandungan liat $< 30\%$ tidak berpengaruh terhadap agregasi.

2. Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah merupakan bahan pengikat setelah mengalami pencucian. Pencucian tersebut dipercepat dengan adanya organisme tanah. Sehingga bahan organik dan organisme di dalam tanah saling berhubungan erat.

3. Tanaman

Tanaman pada suatu wilayah dapat membantu pembentukan agregat yang mantap. Akar tanaman dapat menembus tanah dan membentuk celah-celah. Disamping itu dengan adanya tekanan akar, maka butir-butir tanah semakin melekat dan padat. Selain itu, celah-celah tersebut dapat terbentuk dari air yang diserap oleh tanaman tersebut.

4. Organisme Tanah

Organisme tanah dapat mempercepat terbentuknya agregat. Selain itu juga mampu berperan langsung dengan membuat lubang dan mengemburkan tanaman. Secara tidak langsung merombak sisa-sisa tanaman yang setelah dipergunakan akan dikeluarkan lagi menjadi bahan pengikat tanah.

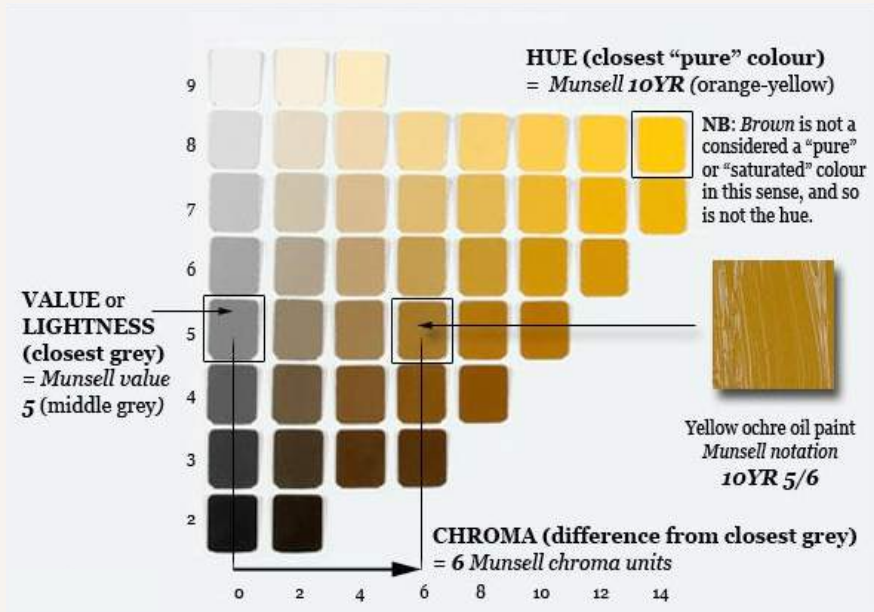
5. Waktu

Waktu menentukan semua faktor pembentuk tanah berjalan. Semakin lama waktu berjalan, maka agregat yang terbentuk pada tanah tersebut semakin mantap.

6. Iklim

Iklim berpengaruh terhadap proses pengeringan, pembasahan, pembekuan, pencairan. Iklim merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap pembentukan agregat tanah.





Sumber: Briggs (2017)

3.4. Warna Tanah

Warna tanah bervariasi sesuai dengan bahan induk, berapa lama tanah telah terbentuk, dan lingkungan itu sendiri. Warna tanah dapat diketahui menggunakan *Munsell Soil Color Chart Book*. Notasi warna tanah terbagi menjadi 3 yaitu: *hue* (warna tertentu), *value* (seberapa terang atau gelap warnanya), dan *chroma* (seberapa pucat atau intensnya warna).

Arti warna tanah bisa beragam misalnya akibat kondisi drainase dan kebasahan (*wetness*) (juga disebut “redoksimorfik”) (contoh pada Gambar 12). Warna kehijauan, kebiru-biruan, dan abu-abu di tanah menunjukkan kondisi basah. Warna-warna ini dapat terjadi sebagai warna dominan (matriks) atau bercak (*mottles*). Warna-warna tersebut disebabkan oleh pengurangan zat besi oleh bakteri dalam kondisi anaerob, ketika bakteri mendapatkan elektron yang mereka butuhkan untuk energi dari besi daripada

dari oksigen. Warna-warna ini akan bertahan meskipun tanah dikeringkan.

Warna-warna tanah yang terang (merah dan kuning), menunjukkan tanah berdrainase baik. Namun, warna tidak seharusnya menjadi satu-satunya indikator kita untuk menentukan kesesuaian tanah untuk tanaman. Dimungkinkan bagi tanah dengan warna-warna terang untuk tetap memiliki kelebihan air bebas pada titik-titik di musim tanam jika air tanah bergerak dengan cepat dan memiliki oksigen yang cukup atau jika terlalu dingin untuk aktivitas biologis.

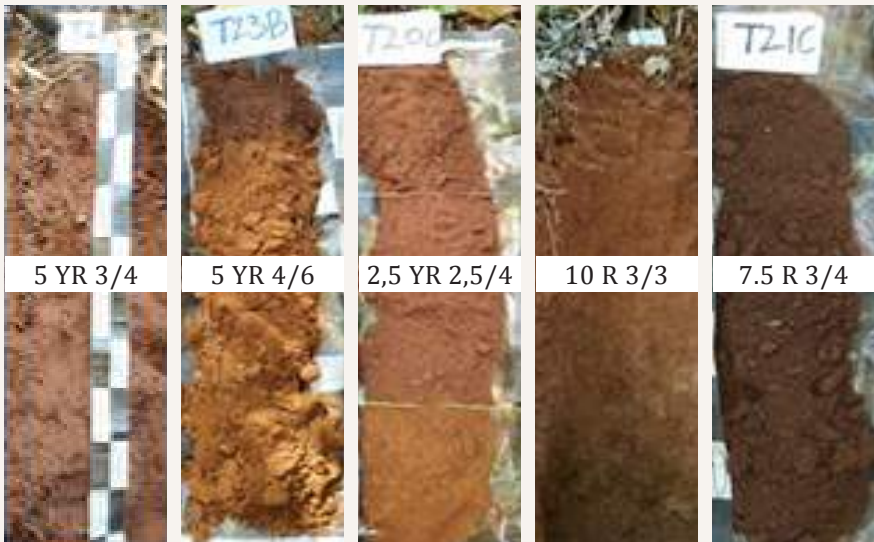


Gambar 12. Warna Tanah pada Kondisi Redoksimorfik (McBride, 1994)

Bahan organik juga dapat menjadi “agen” pewarna tanah. Warna gelap di tanah biasanya menunjukkan bahan organik. Namun, keberadaan bahan organik juga mengindikasikan kondisi lembab (tanah lembab dapat mengakumulasi lebih banyak bahan organik). Terkadang warna gelap dapat berasal dari bahan induk. Ini sering terjadi pada tanah yang terbentuk dari batuan beku berwarna gelap. Warna tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bahan organik yang menyebabkan warna gelap atau hitam, kandungan mineral primer seperti kuarsa dan plagioklas yang memberikan

warna putih keabuan, serta oksida besi seperti goethit dan hematit yang memberikan warna kecokelatan hingga merah. Makin coklat warna tanah umumnya makin tinggi kandungan goethit, dan makin merah warna tanah makin tinggi kandungan hematit. Warna tanah merupakan petunjuk beberapa sifat tanah, karena warna tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yang terdapat dalam tanah tersebut dan salah satunya adalah kandungan bahan organik. Makin tinggi kandungan bahan organik, warna tanah makin gelap. Bahan organik memberi warna kelabu, kelabu tua atau coklat pada tanah kecuali bila bahan dasarnya tertentu seperti oksida dan besi atau penimbunan garam memodifikasi warna. Akan tetapi, banyak tanah tropika dengan kandungan oksida (hematit) yang tinggi berwarna merah, bahkan dengan sejumlah besar bahan organik.

Tanah bekas tambang nikel memiliki warna yang dominan kemerahan akibat kandungan oksida besi yang tinggi. Warna tanah didominasi kemerahan-kekuningan (2.5 YR, 5 YR, 7.5 YR, 10 R). Warna tanah ini kemungkinan besar bersumber dari bahan induk ultramafik yang merupakan bahan induk utama tanah yang terbentuk di wilayah ini. Bahan induk tersebut diantaranya olivine ($(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_4$), biotit ($(\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2)$), dan piroksin ($(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$) yang mengandung besi. Selain itu, curah hujan yang tinggi mengakibatkan proses pelapukan bahan organik dan proses pencucian berlangsung sangat intensif sehingga menyisakan kation besi dan logam-logam lainnya dalam kompleks tanah yang selanjutnya memberi warna dominan kemerahan-kekuningan pada tanah di wilayah ini. Berikut gambar beberapa profil tanah yang menunjukkan warna di areal bekas tambang nikel Sorowako (Gambar 13).



Gambar 13. Warna Tanah Bekas Tambang Nikel Setelah Reklamasi di Sorowako, Sulawesi Selatan

Seiring dengan meningkatnya umur reklamasi terjadi perkembangan warna tanah terutama pada lapisan atas yang terlihat lebih gelap dari lapisan di bawahnya. Perkembangan warna tanah ini jelas terlihat pada tanah berumur 23 tahun (1996) dibandingkan warna tanah pada tanah berumur 2 tahun (2017) (Gambar 14).



Gambar 14. Warna Tanah Berbagai Umur Lahan Reklamasi di Areal Bekas Tambang Nikel Sorowako Sulawesi Selatan

Perkembangan warna tanah selain lapisan atas tanah juga terjadi tetapi tidak sejelas lapisan atas karena pengaruh bahan organik hanya pada lapisan tanah bagian atas. Batas antar lapisan tanah yang mengalami perkembangan dengan meningkatnya umur reklamasi terutama batas lapisan atas dengan lapisan yang berada tepat di bawahnya. Adanya perkembangan warna tanah menyebabkan batas lapisan tanah yang ada semakin mudah terlihat. Semakin lama umur reklamasinya maka semakin terlihat jelas batas antar lapisan pada setiap profilnya terutama pada lapisan atas. Adanya pencampuran tanah dengan *overburden* yang digunakan sebagai bahan tanah untuk reklamasi menyebabkan tekstur tanah lahan reklamasi berbeda dengan tekstur lahan aslinya.



Sumber: Kittredge (2017)

3.5. Bobot Isi dan Porositas Tanah

Tanah terdiri atas bahan padatan, gas dan cair (sistem 3 fase) serta ruang pori di antara bahan padatan yang memiliki ukuran yang bervariasi. Bahan padat terdiri atas bahan organik pada berbagai tingkat pelapukan, termasuk humus, dan bahan mineral serta dengan adanya ruang pori yang berisi udara dan air. Bahan padat dan ruang pori tanah memengaruhi bobot isi (*bulk density*) dan kerapatan jenis partikel (*particle density*) tanah.

Bobot isi tanah adalah ukuran perbandingan antara berat suatu massa tanah dalam keadaan kering mutlak dengan volumenya. Bobot isi tanah bervariasi bergantung pada kerekatan partikel-partikel tanah itu. Bobot isi tanah dapat digunakan untuk menunjukkan nilai batas tanah dalam membatasi kemampuan akar untuk menembus (penetrasi) tanah, dan untuk pertumbuhan akar tersebut. Nilai bobot isi tanah dapat menggambarkan adanya lapisan padat pada tanah, pengolahan tanahnya, kandungan bahan organik dan mineral, porositas, daya menggenang air, sifat drainase dan kemudahan tanah ditembus akar. Nilai bobot isi tanah sering dipergunakan dalam perhitungan-perhitungan seperti dalam penentuan kebutuhan air irigasi pemupukan dan pengolahan tanah.

Bobot isi tanah merupakan petunjuk kepadatan tanah. Makin padat suatu tanah makin tinggi bobot isi tanah, yang berarti makin sulit meneruskan air atau menembus akar tanaman. Pada umumnya bobot isi tanah berkisar dari $1.1 - 1.6 \text{ g cm}^{-3}$ beberapa jenis tanah mempunyai bobot isi kurang dari 0.90 g cm^{-3} (misalnya tanah Andisol), bahkan ada yang kurang dari 0.10 g cm^{-3} misalnya tanah gambut. Bobot isi tanah penting untuk menghitung kebutuhan pupuk atau air untuk tiap-tiap hektar tanah, yang didasarkan pada berat tanah perhektar (Hardjowigeno, 2003).

Bobot isi tanah areal reklamasi bekas tambang nikel di Sorowako umumnya tergolong tinggi ($> 1.3 \text{ g cm}^{-3}$). Hal ini dapat terjadi oleh karena saat penimbunan tanah pasca tambang menggunakan alat-alat berat seperti eskavator terutama pada saat mengembalikan tanah pucuk yang menyebabkan tanah cenderung padat utamanya di lapisan tanah bagian atas (*topsoil*). Sifat fisik lahan reklamasi dan lahan hutan sangat berbeda. Bobot isi tanah pada lapisan atas pada umumnya lebih rendah dibandingkan dengan lapisan bawahnya, kecuali pada lahan reklamasi yang masih relatif baru yang lapisan atasnya memiliki nilai lebih tinggi

dibandingkan lapisan bawahnya. Hal ini dikarenakan adanya proses pemadatan tanah pada lapisan atas sebagai akibat dari penggunaan alat berat untuk reklamasi lahan. Bobot isi tanah lapisan atas pada lahan reklamasi berumur > 10 tahun, dan lahan hutan lebih rendah dibandingkan lapisan bawahnya dikarenakan adanya vegetasi penutup di permukaan tanah yang menyumbang bahan organik pada lapisan tanah paling atas melalui serasah yang dihasilkan dan akar-akar tanaman yang mati. Adanya bahan organik ini mendukung kegiatan organisme tanah yang akan meningkatkan pori-pori tanah, sehingga bobot isi lapisan atas lebih rendah. Secara umum tanah-tanah bertekstur halus mempunyai bobot isi lebih rendah daripada tanah bertekstur kasar (Soepardi, 1983). Jika dilihat dari peningkatan umur reklamasi, bobot isi tanah pada lahan-lahan reklamasi menunjukkan nilai yang bervariasi. Hasil studi Tim Puslantek-CoT Unhas (2019) menunjukkan bahwa peningkatan umur reklamasi sampai tahun ke-23 belum memengaruhi perkembangan bobot isi tanah secara signifikan, meskipun pada beberapa titik bobot isi tanah 1.2 g cm^{-3}.





Bobot isi tanah pada lahan reklamasi pasca tambang nikel di PT Vale, Sorowako lebih tinggi dibandingkan bobot isi tanah dari tanah hutan (Tabel 3). Tingginya bobot isi tanah pada lahan reklamasi disebabkan oleh kerusakan struktur tanah yang terjadi akibat pemadatan tanah dengan alat berat pada saat penataan lahan reklamasi. Kerusakan pada struktur tanah menyebabkan ruang pori dalam tanah mengalami penurunan sehingga bobot isi mengalami peningkatan. Selain itu, rendahnya bahan organik tanah menyebabkan bobot isi tanah pada lahan reklamasi lebih tinggi dibandingkan lahan hutan. Pertumbuhan tanaman seiring peningkatan umur reklamasi lahan memberikan perbaikan pada struktur tanah. Perbaikan struktur tanah dapat terjadi karena aktivitas perakaran tanaman dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah yang dapat meningkatkan ruang pori tanah. Selain itu, peningkatan bahan organik dari hasil pelapukan serasah tanaman juga merangsang terjadinya proses agregasi tanah sehingga akan meningkatkan jumlah pori yang terdapat pada makroagregat. Perbaikan pada struktur tanah akan berpengaruh pada penurunan

bobot isi, peningkatan porositas, peningkatan retensi air tanah, dan perbaikan pada pergerakan air di dalam tanah (Sofyan *et al.*, 2017).

Tabel 3. Kisaran Bobot Isi Tanah Hutan dan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako

Bobot Isi Tanah "Hutan"		Bobot Isi Tanah "Areal Reklamasi"	
Atas	: 1.02 – 1.21 g cm ⁻³	Atas	: 1.14 – 1.98 g cm ⁻³
Bawah	: 1.20 – 1.30 g cm ⁻³	Bawah	: 1.15 – 1.30 g cm ⁻³

Rata-rata porositas tanah pada lahan reklamasi relatif lebih rendah dibandingkan lahan hutan asli (Tabel 4). Tingginya porositas tanah pada lahan hutan dipengaruhi oleh bahan organik tanah yang disumbangkan dari vegetasi. Peningkatan bahan organik tanah dapat meningkatkan populasi dan aktivitas organisme tanah sehingga pori tanah mengalami peningkatan. Selain itu, aktivitas perakaran dari vegetasi juga dapat mengakibatkan peningkatan porositas tanah.

Tabel 4. Kisaran Nilai Ruang Pori Total Tanah Hutan dan Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako

Total Ruang Pori Tanah "Hutan"		Total Ruang Pori Tanah "Areal Reklamasi"	
Atas	: 0.54 – 0.62	Atas	: 0.25 – 0.57
Bawah	: 0.51 – 0.55	Bawah	: 0.51 – 0.57

Pada tanah alami yang produktif bobot isi tanah berkisar antara 1.1 – 1.5 g cm⁻³, sedangkan pada sisa-sisa bahan tambang *overburden* yang berumur 7 tahun memiliki bobot isi cukup tinggi mencapai 1.91 g cm⁻³, terdapat pada kedalaman efektif perakaran (Maiti & Ghose, 2005). Kepadatan tanah merupakan salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang. Hal ini karena kebanyakan vegetasi tidak mampu memperpanjang akar efektif melalui bobot isi yang tinggi pada lahan bekas tambang (Sheoran *et al.*, 2010). Pada lahan bekas tambang yang memiliki tanah sangat padat (bobot isi > 1.7 g cm⁻³), terutama pada kedalaman < 60

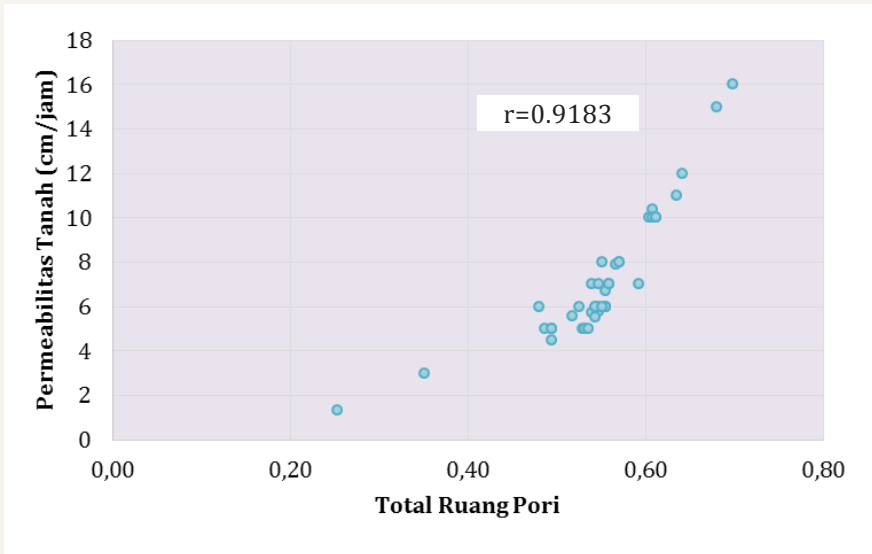
cm dari kedalaman perakaran efektif, memiliki batuan yang dangkal dan besar, mengakibatkan air tidak cukup tersedia bagi tanaman dan rentan terhadap kekeringan yang berkepanjangan. [Hermawan \(2011\)](#) menunjukkan bahwa tingkat kepadatan tanah pada lahan bekas tambang yang telah direklamasi selama 12 tahun relatif sesuai untuk pertumbuhan tanaman pangan. Tingkat kepadatan tanah bekas tambang tersebut lebih rendah dibandingkan ketika vegetasi reklamasi baru berumur 8 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan vegetasi reklamasi berdampak positif dalam menurunkan kepadatan tanah sehingga sesuai untuk pertumbuhan tanaman pangan. Tindakan perbaikan lahan tetap harus dilakukan ketika lahan bekas tambang dialih fungsikan menjadi lahan pertanian tanaman pangan karena setiap jenis tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap kepadatan tanah ([Batey, 2009](#)).

3.6. Permeabilitas Tanah

Infiltrasi dan permeabilitas tanah mempunyai hubungan yang erat dengan distribusi ukuran pori dan kemantapan struktur tanah. Pada awalnya laju infiltrasi sangat tinggi pada tanah-tanah yang mempunyai rekahan yang besar dan dalam. Sewaktu rekahan ini terisi dengan air, seringkali tanah itu mengembang dan laju infiltrasi dapat berkurang sampai suatu nilai yang dekat dengan nol. Tanah Vertisols yang berliat mempunyai laju infiltrasi yang cukup tinggi ketika kering, yang diduga karena adanya rekahan yang terjadi. Untuk tanah semacam ini, irigasi akan terhenti segera setelah rekahan terisi, karena sangat sedikit air yang dapat masuk ke dalam tanah, dan air yang masuk pun bisa menyebabkan kondisi aerasi yang tidak diinginkan. Untuk tanah dengan tekstur lempung berpasir, awal laju infiltrasi sangat pelan, kemudian lajunya hampir tetap untuk waktu yang lama. Perubahan-perubahan distribusi ukuran pori terjadi pada awal pembasahan oleh karena pengisian ruang kosong tanah yang cepat pada saat yang sama. Laju infiltrasi

tetap terjadi setelah waktu yang lama, menunjukkan suatu tanah yang terbuka dimana hanya sedikit dan tidak ada perubahan dalam hubungan-hubungan pori-pori dengan pembasahan yang lama.

Rendahnya permeabilitas pada awal reklamasi lahan bekas tambang sangat tergantung pada tekstur material timbunan dan pemadatan tanah timbunan. Di sisi lain, meningkatnya permeabilitas tanah dapat disebabkan oleh meningkatnya populasi dan aktivitas organisme tanah. Aktivitas organisme tanah dapat membentuk rongga dalam tanah, mendekomposisi serasah menjadi bahan organik yang mampu memperbaiki agregat tanah. Hal tersebut dapat mengakibatkan peningkatan pori-pori tanah untuk melewatkan air ke dalam tanah. Namun, pada tanah yang baru direklamasi, populasi dan aktivitas mikroorganisme masih nihil. Berdasarkan analisis korelasi menunjukkan ada keterkaitan yang erat antara permeabilitas dengan porositas. Seiring dengan semakin tinggi porositas tanah maka permeabilitas tanah juga meningkat nyata secara linier (Gambar 15).



Gambar 15. Hubungan Total Ruang Pori dengan Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah meningkat disebabkan oleh adanya keterkaitan dengan sifat fisik tanah seperti porositas dan bobot isi. Peningkatan pori makro tanah mampu meningkatkan permeabilitas tanah dan sebaliknya semakin sedikit pori tanah menurunkan permeabilitas. Porositas merupakan salah satu faktor penentu dalam peningkatan produktivitas tanah seperti kemampuan tanah memegang dan melewatkan air (permeabilitas) serta perbaikan aerasi tanah.



Daftar Pustaka

- Afandi, A. (2005). *Penuntun Praktikum Fisika Tanah*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Batey, T. (2009). Soil Compaction and Soil Management - A Review. *Soil Use and Management, John Wiley & Sons, Inc.*, 25(4), hlm. 335-345. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- Baver, L. D., Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1976). *Soil Physic* (Edisi 4). New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Buckman, H. O. & Brady, N. C. (1982). *Ilmu Tanah (The Nature and Properties of Soil)* (Terj. oleh Soegiman). Jakarta: Bharata Karya Aksara.
- Buol, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (1980). *Soil Genesis and Classification* (Vol. Iowa State University Press): Ames.
- Damayani, P. (2008). "Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Kerapatan Isi, Ruang Pori Total, dan Kekuatan Tanah pada Pertanaman Tebu di PT Gunung Madu Plantations, Lampung Tengah". *Skripsi*. Jurusan Ilmu Tanah, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Hardjowigeno, S. (2003). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hermawan, B. (2011). Peningkatan Kualitas Lahan Bekas Tambang Melalui Revegetasi dan Kesesuaiannya sebagai Lahan Pertanian Tanaman Pangan. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Budidaya Pertanian: Urgensi dan Strategi Pengendalian Alih Fungsi Lahan Pertanian*. Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, hlm. 60-70.
- Hillel, D. (1980). *Fundamentals of Soil Physics*. Massachusetts: Academic Press.
- Ismangil, I. & Hanudin, E. (2005). Degradasi Mineral Batuan oleh Asam-Asam Organik. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada*, 5(1), hlm. 1-17.
- Kittredge, J. (2017, November). Tests You can do for Soil Health. Dalam *NOFA/Mass*. Diakses dari <https://www.nofamass.org/articles/2017/11/tests-you-can-do-soil-health>, pada tanggal 20 Maret 2020.

- Maiti, S. K. & Ghose, M. K. (2005). Ecological Restoration of Acidic Coal-Mine Overburden Dumps - An Indian Case Study. *Land Contamination and Reclamation, EPP Publications*, 13(4), hlm. 361-369.
- McBride, M. B. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. London: Oxford University Press.
- Nadalia, D. & Pulunggono, H. B. (2020). Soil Characteristics of Post-Mining Reclamation Land and Natural Soil without Top Soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(2), hlm. 2011-2016. doi: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2011>
- Nadler, A., Perfect, E., & Kay, B. D. (1996). Effect of Polyacrylamide Application on the Stability of Dry and Wet Aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, 60(2), hlm. 555-561. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000020031x>
- Notohadiprawiro, T. (1999). *Tanah dan Lingkungan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Overheu, T. (2019, 27 November). Estimating Soil Texture by Hand. Dalam *The Department of Primary Industries and Regional Development*. Diakses dari <https://www.agric.wa.gov.au/soil-constraints/soil-texture-estimating-hand>, pada tanggal 23 Maret 2020.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), hlm. 1-20.
- Sinukaban, N. & Rahman, L. M. (1983). *Konservasi Tanah*. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Soepardi, G. (1983). *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Sofyan, R. H., Wahjunie, E. D., & Hidayat, Y. (2017). Karakterisasi Fisik dan Kelembaban Tanah pada Berbagai Umur Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Buletin Tanah dan Lahan, Institut Pertanian Bogor*, 1(1), hlm. 72-78.

- Syarief, S. (1989). *Fisika-Kimia Tanah Pertanian*. Bandung: Pustaka Buana.
- Trugreen. (2004, 20 Februari). Lawn Care Tips: Get to Know Your Soil Texture. Dalam Diakses dari <https://www.trugreen.com/lawn-care-101/learning-center/grass-basics/dig-deeper/soil-texture>, pada tanggal 16 Maret 2020.
- Utomo, W. H. (1985). *Dasar-Dasar Fisika Tanah*. Malang: Fakultas Pertanian, Universitas Brawijawa.



Bagian 4

Karakteristik Kimia dan Kesuburan Tanah Bekas Tambang Nikel

4.1. Pendahuluan

Salah satu kegiatan yang harus dilakukan oleh setiap perusahaan yang melakukan kegiatan penambangan adalah reklamasi lahan. Reklamasi adalah kegiatan yang bertujuan memperbaiki atau menata kegunaan lahan yang terganggu sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan, agar dapat berfungsi dan berdaya guna sesuai peruntukannya. Namun, upaya reklamasi yang dilakukan sering menghadapi kendala-kendala utamanya pemadatan tanah, kondisi pH tanah rendah, berkurangnya populasi mikroorganisme berguna, dan terjadinya pencemaran logam-logam berat dalam tanah. Kegiatan penambangan yang mengacu pada mekanisme penambangan yang baik sangat penting untuk diterapkan oleh perusahaan guna menjamin kesuksesan kegiatan reklamasi di lahan-lahan bekas tambang.

Penelitian pada lahan bekas tambang nikel Pomalaa Sulawesi Tenggara pernah dilakukan oleh [Widiatmaka *et al.* \(2010\)](#) yang menjelaskan bahwa pertumbuhan tanaman di lahan revegetasi masih rendah dengan melihat ukuran daun yang kerdil, volume dan diameter tanaman yang kecil. Penyebab utamanya adalah defisiensi unsur hara seperti K, Ca, Fe, Cu, dan Mn. Selain unsur hara tanaman yang rendah, lahan tambang nikel di Pomalaa merupakan tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk batuan ultra basa yang memiliki kandungan logam berat yang mencapai kadar toksik pada tanaman, antara lain Ni dan Cr.

Berikut ini akan diuraikan karakteristik kimia tanah bekas tambang yang ditemukan di beberapa areal bekas tambang nikel seperti di Pomalaa, Sulawesi Tenggara, dan areal bekas tambang nikel di PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale), Sorowako, Sulawesi Selatan.

4.2. Reaksi Tanah (pH)

Reaksi tanah menunjukkan kemasaman atau alkalinitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion unsur (H^+) di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah maka semakin masam tanah tersebut. Selain ion H^+ , ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya H^+ . Pada tanah masam jumlah ion $H^+ > OH^-$, tanah alkalis jumlah ion $OH^- > H^+$ dan pada tanah netral jumlah ion $H^+ = OH^-$. Tanah mewarisi sifat-sifat dari bahan induknya. Reaksi tanah dapat alkalis, netral dan masam. Proses hidrolisis kalsium karbonat menghasilkan OH^- yang akan berkontribusi terhadap alkalinitas dalam tanah yang dapat mencapai pH tanah 8.3 bahkan 10 atau lebih (Foth, 1990).

Mengapa pH tanah penting? Pertanyaan ini seringkali muncul dan berikut jawaban dari pertanyaan tersebut. Reaksi tanah (pH) tanah penting oleh karena:

1. Menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman, umumnya unsur hara mudah diserap akar tanaman pada pH tanah sekitar netral, karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah larut dalam air. Pada tanah masam unsur P tidak dapat diserap tanaman karena difiksasi oleh Al, sedang pada pH alkalis unsur P difiksasi oleh Ca.
2. Menunjukkan kemungkinan adanya unsur-unsur beracun. Pada tanah-tanah masam banyak ditemukan ion-ion Al di dalam tanah, disamping memfiksasi unsur P juga merupakan racun bagi akar tanaman. Disamping itu, pada reaksi tanah yang masam, unsur-unsur mikro menjadi mudah larut, sehingga ditemukan unsur mikro yang terlalu banyak. Unsur mikro merupakan hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sangat kecil, sehingga menjadi racun kalau dalam jumlah besar.

3. Mempengaruhi perkembangan mikroorganisme. Bakteri, jamur yang bermanfaat bagi tanah dan tanaman akan berkembang baik pada $\text{pH} > 5.5$ apabila pH tanah terlalu rendah maka akan terhambat aktivitasnya.

Tanah bekas tambang nikel yang berlokasi di Sorowako memiliki reaksi tanah tergolong masam-agak masam, umumnya memiliki $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ di lapisan 1 dalam kisaran 5.5 – 6.1, lapisan 2 berkisar 5.4 – 6.2. Sedangkan $\text{pH}(\text{KCl})$ di lapisan 1 berkisar 5.8 – 6.3, lapisan 2 berkisar 5.4 – 6.4. Data ini menunjukkan bahwa $\text{pH}_{\text{KCl}} > \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. Data ini menjadi petunjuk bahwa tanah di area ini tergolong tanah yang telah melapuk lanjut, dan miskin akan hara atau tergolong kesuburan rendah.

Pelapukan batuan dan mineral yang intensif disertai pencucian dapat menghasilkan tanah yang lebih masam oleh karena meningkatnya pencucian kation-kation basa seperti Ca, Mg K dan Na yang umumnya ditemukan di daerah humid tropika. Kation-kation basa tersebut akan digantikan oleh Al dan H sehingga tanah menjadi masam. Kation Al^{3+} dan H^+ disebut kation asam. Batuan induk di daerah tambang nikel umumnya memiliki kation asam seperti Fe, H dan Al yang tinggi dan lebih didukung dengan curah hujan yang tinggi sehingga pelapukan dan pencucian terjadi secara intensif.

Menurut Foth (1990), ada 3 proses penting yang berkontribusi pada penambahan ion H^+ yang cenderung membuat tanah menjadi masam. *Pertama* adalah respirasi oleh akar dan organisme tanah lainnya yang menghasilkan karbon dioksida yang bereaksi dengan air untuk membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Ini adalah asam lemah yang tetap menyumbangkan H^+ ke larutan tanah. *Kedua*, keasaman yang diproduksi ketika bahan organik termineralisasi. Asam organik terbentuk, nitrogen termineralisasi menjadi asam nitrat dan sulfur dioksidasi menjadi asam sulfat.

Ketiga, hujan asam alami yang bereaksi dengan karbon dioksida di atmosfer dan asam karbonat yang memberikan air hujan yang pH-nya sekitar 5.6. Hasil dari reaksi-reaksi ini menambah kemasaman secara terus-menerus ke tanah. Dengan meningkatnya curah hujan ada peningkatan ketiga proses yang disebutkan sebelumnya. Jumlah curah hujan yang lebih tinggi akan menambah kemasaman tanah akibat pertumbuhan tanaman lebih baik, menyebabkan lebih banyak respirasi dan mineralisasi bahan organik.

Ketersediaan hara sangat ditentukan oleh status pH tanah. Hal ini sejalan dengan hasil analisis tanah bekas tambang nikel Sorowako yang menunjukkan ketersediaan hara utamanya N, P, K, C-organik yang rendah sampai sedang dan kapasitas tukar kation (KTK) yang dominan kategori rendah ($< 16 \text{ cmol kg}^{-1}$). Ketersediaan nitrogen maksimum antara pH 6.0 dan 8.0, karena ini adalah kisaran yang paling menguntungkan untuk mikroba tanah yang mineralisasikan nitrogen di bahan organik dan mikroorganisme yang mendukung ketersediaan nitrogen melalui simbiosis mutualisme. Ketersediaan fosfor berkurang dengan adanya kalsium karbonat. Ketersediaan fosfor maksimum dalam kisaran 6.5 hingga 7.5. Di bawah pH 6.5, peningkatan keasaman yang seiring dengan peningkatan besi dan aluminium menyebabkan ketersediaan fosfor menurun.

Ketersediaan besi dan mangan meningkat dengan meningkatkan keasaman karena peningkatan kelarutannya. Kedua nutrisi ini sering kurang pada tanaman yang tumbuh di tanah alkali karena sulit terlarut pada kondisi pH tanah alkalis. Hal sama terjadi pada senyawa boron, tembaga dan seng. Pada tanah masam, molibdenum umumnya kurang tersedia karena reaksinya dengan besi untuk membentuk senyawa yang tidak larut.

Fungi memiliki kapasitas yang lebih bertahan hidup di tanah yang masam dibandingkan bakteri (Foth, 1990). Cacing

tanah agak terhambat kehidupannya di tanah yang masam. Farb (1959) menceritakan kasus yang menarik di dimana pH tanah memengaruhi cacing tanah dan populasi mikroorganisme tanah lainnya. Toksisitas dapat terjadi ketika pH tanah sekitar 4.5 atau kurang.

Ada dua pendekatan untuk memastikan tanaman itu akan tumbuh tanpa hambatan serius dari pH tanah yang tidak menguntungkan:

1. pemilihan tanaman yang dapat tumbuh baik pada kondisi pH tanah aktual;
2. pH tanah dapat diubah sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sebagian besar perubahan pH tanah diarahkan mengurangi keasaman tanah dan meningkatkan pH dengan pengapuran. Manfaat utama dari pengapuran adalah mengurangi aluminium dapat ditukar dan mengurangi aluminium dalam larutan; meningkatkan jumlah XCa dan atau XMg; dan meningkatkan ketersediaan molibdenum.

Tanah masam yang telah dikapur masih memungkinkan menjadi masam akibat pemasaman alami dari respirasi biologis, mineralisasi bahan organik, dan adanya hujan. Dengan demikian, perlu dilakukan lagi pengapuran 2 hingga 5 tahun tergantung pada variabel seperti laju aplikasi kapur, KTK tanah, curah hujan, dan praktik pemupukan. Hal ini sejalan dengan hasil analisa tanah bekas tambang nikel Sorowako yang masih menunjukkan nilai pH agak masam sampai masam dan ketersediaan hara yang tergolong rendah meskipun telah dilakukan pengapuran dan pemupukan organik. Aktivitas pemupukan organik dan pengapuran perlu dilakukan secara rutin untuk pemulihan atau pengembalian kesuburan tanah seperti semula sebelum ditambang (hutan alami).



4.3. C-Organik

Bahan organik adalah kumpulan beragam senyawa-senyawa organik kompleks yang sedang atau telah mengalami proses dekomposisi, baik berupa humus hasil humifikasi maupun senyawa-senyawa anorganik hasil mineralisasi dan termasuk juga mikroba heterotrofik dan ototrofik yang terlibat dan berada di dalamnya. Bahan organik tanah dapat berasal dari jaringan organik tanaman seperti daun, ranting dan cabang, batang, buah, dan akar dan jaringan organik fauna, serta sumber lain seperti pemberian pupuk organik berupa pupuk kandang, pupuk hijau, pupuk kompos dan pupuk hayati. [Buckman & Brady \(1982\)](#) menyatakan bahwa biomass bahan organik yang berasal dari biomass hijauan, terdiri dari air (75%) dan biomass kering (25%).

Pada umumnya, kandungan bahan organik tanah pada lahan reklamasi lebih rendah dibandingkan lahan hutan. Hal ini ditunjukkan oleh [Sofyan *et al.* \(2017\)](#) yang telah melakukan penelitian di areal bekas tambang nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara dapat dilihat bahwa kandungan C-organik tanah pada lapisan atas

(0 – 10 cm) di lahan reklamasi berkisar antara 0.98 – 1.64% dan lapisan bawah (30 – 50 cm) pada lahan hutan sebesar 1.85% (Tabel 5). Hal ini sejalan dengan hasil survei lapang Tim Puslantek-CoT Unhas (2019) yang menunjukkan kandungan C-organik tanah di areal lahan bekas tambang nikel di PT Vale, Sorowako yang lebih rendah dibandingkan bahan organik di areal hutan. Kandungan C-organik tanah di hutan PT Vale berkisar 1.58 – 1.83% (lapisan atas), 0.4 – 1.54% (lapisan 2) dan < 0.4% di lapisan 3. Sedangkan di areal reklamasi kandungan C-organik berkisar antara 1.19 – 1.60% (Lapisan 1), dan 0.42 – 1.60% (lapisan 2). Hal ini mengindikasikan bahwa rendahnya kandungan bahan organik tanah pada lahan reklamasi karena *topsoil* yang digunakan dalam penataan lahan (*regrading*) reklamasi diduga telah tercampur dengan *subsoil*. Hasil analisis contoh tanah pucuk baru yang digunakan di areal reklamasi masih tergolong rendah kandungan C-organiknya yaitu 1.56% dan kadarnya lebih rendah pada tanah pucuk yang sudah lama yaitu sekitar 1.16%. Iskandar *et al.* (2012) mengemukakan bahwa bagian permukaan lahan hasil *regrading* yang ditutup kembali dengan *top soil* umumnya memiliki sifat kimia dan fisik yang masih tergolong kesuburan rendah. Lebih lanjut Iskandar *et al.* (2012) menemukan bahwa bahan organik tanah di areal reklamasi tambang nikel di Pomalaa Sulawesi Tenggara mengalami peningkatan seiring peningkatan umur reklamasi lahan. Peningkatan ini disebabkan oleh hasil pelapukan serasah tanaman revegetasi dari tahun ke tahun semakin besar. Serasah dari bagian batang, ranting, dan daun tanaman yang jatuh berperan dalam meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Arsyad, 2006). Berdasarkan kriteria nilai bahan organik oleh Agus *et al.* (2009), kisaran kandungan bahan organik tanah pada lahan reklamasi termasuk dalam kriteria sangat rendah dan lahan hutan termasuk kriteria rendah sampai sedang. Pada Tabel 5. juga ditunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah pada berbagai umur lahan reklamasi dan lahan

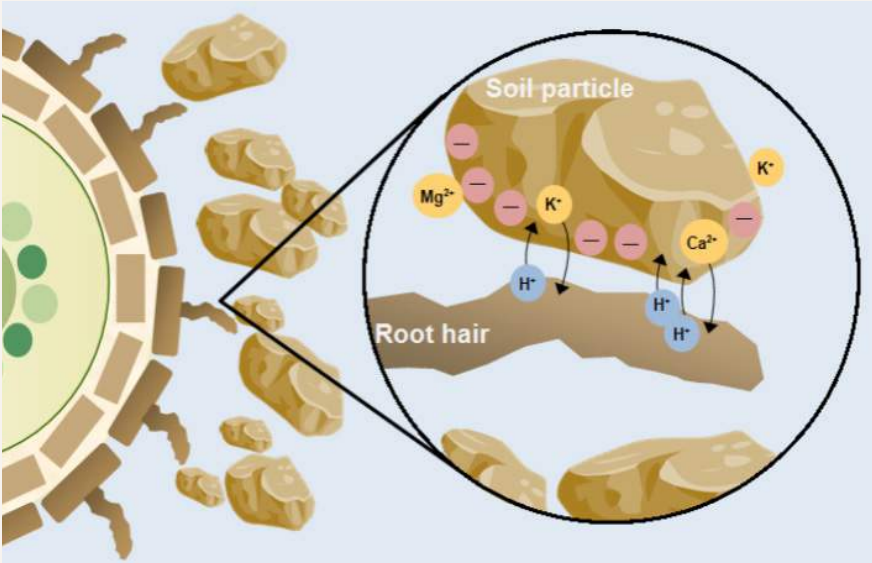
hutan mengalami penurunan seiring peningkatan kedalaman tanah, kecuali pada lahan reklamasi Tahun 2009. Hal ini terkait aktivitas perakaran dan adanya sumbangan bahan organik tanah dari vegetasi. Perakaran dari vegetasi umumnya dijumpai lebih banyak pada lapisan atas sehingga aktivitas dan sumbangan bahan organik dari perakaran lebih besar pada lapisan atas.

Tabel 5. Kandungan C-Organik (%) Tanah Berbagai Umur Reklamasi di Lahan Bekas Tambang Nikel dan Hutan

Penggunaan lahan	Lapisan	C-organik (%)	
		Sorowako, Sulsel*	Pomalaa, Sultra**
Hutan	1	1.81	4.96
	2	1.54	2.21
	3	0.71	1.85
Bekas Tambang (Reklamasi 2008)	1	0.97	1.31
	2	0.90	0.96
	3	0.90	0.85
Bekas Tambang (Reklamasi 2009)	1	1.23	1.64
	2	1.05	0.67
	3	1.05	0.74
Bekas Tambang (Reklamasi 2010)	1	1.68	0.98
	2	1.05	0.68
	3	0.72	0.45

Sumber: *Hasil Survei Tim Puslantek-CoT Unhas (2019)

**Sofyan et al. (2017)



Sumber: Sanders & Beasley (2020)

4.4. Kapasitas Tukar Kation

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah adalah kemampuan koloid tanah dalam menjerap dan mempertukarkan kation. Kapasitas tukar kation dinyatakan dalam miliekuivalen per 100 gram tanah (Tan, 1991). Banyak parameter tanah mempengaruhi kapasitas tukar kation tanah terutama pH tanah, tekstur tanah, dan kandungan bahan organik hingga batas tertentu. Reaksi tanah (pH) adalah parameter tanah penting yang berkorelasi positif dengan KTK (Foth, 1990), dengan demikian nilai pH tinggi meningkatkan jumlah muatan negatif pada koloid dan KTK. Kandungan bahan organik dan liat yang tinggi mendukung KTK yang lebih tinggi oleh karena keduanya memiliki sejumlah besar muatan negatif pada permukaannya yang menarik dan menahan kation. Muatan negatif partikel tanah adalah akibat dari substitusi isomorfik dalam struktur filosilikat dan disosiasi gugus organik fungsional (Pansu & Gautheyrou, 2006).

Koloid tanah terdiri dari koloid anorganik dan koloid organik. Koloid anorganik adalah partikel liat yang berukuran 0,001 mm atau 1 μm , sedangkan koloid organik berasal dari dekomposisi bahan organik yang stabil yaitu humus. Koloid liat bersifat mantap sedangkan koloid humus bersifat dinamis dapat berubah (Hakim *et al.*, 1986). Pertukaran kation terjadi pada koloid liat dan koloid humus yang memiliki muatan negatif tersebut, sehingga tekstur tanah (jumlah liat), jenis mineral liat, dan kandungan bahan organik akan mempengaruhi kapasitas tukar kation suatu tanah. Kegiatan penambangan yang *open pit mining*, akan menyebabkan terbukanya lahan dan berakibat penurunan kandungan bahan organik tanah akibat pelapukan dan pencucian intensif. Penurunan kandungan bahan organik tanah ini akan berdampak pada penurunan kandungan humus tanah yang pada akhirnya juga akan berdampak pada penurunan nilai KTK tanah. Koloid humus

mempunyai KTK paling besar dibandingkan dengan koloid liat. Koloid humus selain berfungsi sebagai tempat jerapan kation-kation, juga berperan sebagai sumber pembebasan unsur hara yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya (Tan, 1991).

Hasil analisis contoh tanah bekas tambang nikel Sorowako menunjukkan nilai KTK tanah yang didominasi KTK tergolong rendah ($< 16 \text{ cmol kg}^{-1}$). Hal ini sangat berkaitan dengan faktor pembentuk tanah yang dominan di wilayah ini adalah bahan induk ultramafik dan faktor curah hujan dan suhu yang tinggi yang mengakibatkan terjadi proses pelapukan dan pencucian intensif di wilayah ini. Akibatnya kandungan bahan organik menjadi rendah, bahan induk mudah lapuk $< 10\%$, dan mineral liat dominan ditemukan berupa kaolinit yang memiliki KTK rendah (Tabel 6). Adapun nilai KTK tanah 5 tahun terakhir (2013 – 2017) yang ditemukan di areal reklamasi bekas tambang nikel Sorowako Sulawesi Selatan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 6. KTK Berbagai Koloid Tanah

Koloid Tanah	KTK (cmol kg^{-1})
Humus	100 – 300
Klorit	10 – 40
Montmorilonit	80 – 150
Illit	10 – 40
Kaolinit	3 – 15
Haloisit 2H ₂ O	5 – 10
Haloisit 4H ₂ O	40 – 50
Seskuioksida	0 – 3

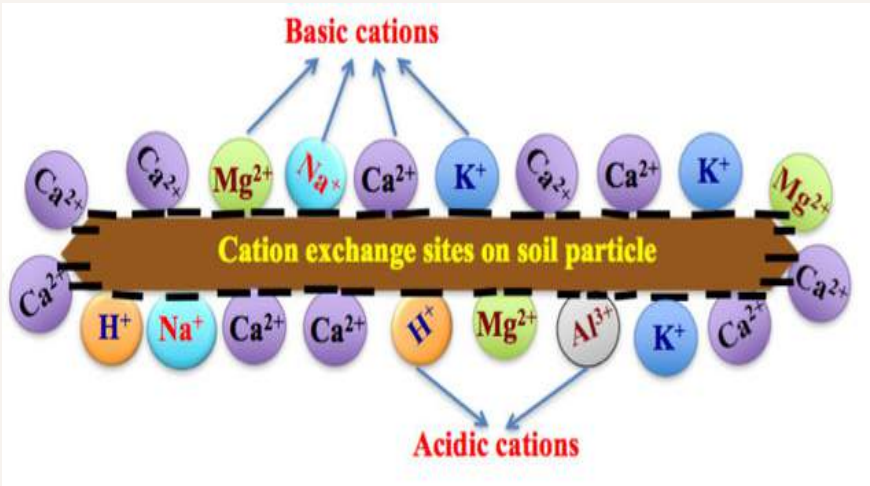
Tabel 7. Nilai Rata-Rata KTK Tanah di Areal Reklamasi Bekas Tambang Nikel Sorowako, Sulawesi Selatan

Unit	Tahun Reklamasi	Lapisan	KTK (cmol kg ⁻¹)	Kategori
1	2013	1	12.21	Rendah
		2	11.27	Rendah
2	2014	1	11.95	Rendah
		2	10.02	Rendah
3	2015	1	11.95	Rendah
		2	10.74	Rendah
4	2016	1	11.87	Rendah
		2	11.49	Rendah
5	2017	1	11.06	Rendah
		2	10.38	Rendah



4.5. Kejenuhan Basa

Kejenuhan basa adalah perbandingan antara kation basa dengan jumlah kation yang dapat dipertukarkan pada koloid tanah. Jika kejenuhan basa tinggi maka pH tanah tinggi, karena jika kejenuhan basa rendah berarti banyak terdapat kation-kation masam yang terjerap kuat di koloid tanah. Kecepatan pelepasan kation terjerap bagi tanaman tergantung pada tingkat kejenuhan basa tanah. Kejenuhan basa tanah berkisar 50% - 80% dikategorikan kesuburan sedang dan tergolong tidak subur jika kurang dari 50% (Tan, 1991). Dalam peningkatan kejenuhan basa tanah, pemberian kapur umum dilakukan. Pupuk yang terutama mengandung CaCO_3 dapat merupakan sumber basa lahan masam yang terbentuk dari bahan ultramafik. Tingkat kejenuhan basa suatu tanah mempengaruhi kation tanah.



Sumber: Chaganti & Culman (2017)

Tanah bekas tambang nikel di Sorowako memiliki kejenuhan basa umumnya tergolong rendah-sedang yang berkisar 32 - 56% (Tim Survei Puslantek-CoT Unhas, 2019). Jumlah kation basa secara berturut-turut terbesar ke terkecil yang ditemukan adalah $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Na}$. Jumlah kation $\text{Mg} > \text{Ca}$ mengakibatkan rasio $\text{Ca}:\text{Mg}$

menjadi lebih kecil yang dapat mengakibatkan ketidakseimbangan hara dalam tanah (Schulte & Kelling, 2004).

4.6. Jumlah Hara Makro (Nitrogen, Fosfor & Kalium)

Fosfor (P) merupakan unsur hara makro esensial bagi tanaman, karena berperan penting dalam penyediaan energi kimia yang dibutuhkan pada hampir semua kegiatan metabolisme tanaman. Fungsi penting fosfor di dalam tanaman yaitu dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer dan penyimpanan energi, pembelahan dan pembesaran sel serta proses-proses lainnya (Sudaryono, 2009). Menurut Sanchez (1976), pada daerah tropis, unsur P diperkirakan merupakan pembatas pertumbuhan dan produksi tanaman urutan ketiga setelah air dan nitrogen. Unsur P adalah unsur kedua setelah N yang berperan penting dalam fotosintesis dan perkembangan akar. Ketersediaan P dalam tanah jarang yang melebihi 0,01% dari total P. Sebagian besar bentuk P terikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Umaternate *et al.*, 2014). Fosfor diserap tanaman dalam bentuk $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} terutama yang berada di dalam larutan tanah. Menurut Umaternate *et al.* (2014) tanah masam dengan $pH < 5,5$ didominasi oleh kation Fe^{3+} dan Al^{3+} sedangkan pada $pH > 6,0$ sistem tanah didominasi oleh kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Kalium (K) merupakan unsur hara utama ketiga setelah N dan P. Kalium mempunyai valensi satu dan diserap dalam bentuk ion K^+ . Kalium tergolong 11 unsur yang mobil dalam tanaman baik dalam sel, dalam jaringan tanaman, maupun dalam xylem dan floem (Rosmarkam & Yuwono, 2002). Kadar kalium total di dalam tanah pada umumnya cukup tinggi, dan diperkirakan mencapai 2,06% dari total berat tanah, tetapi kalium yang tersedia di dalam tanah cukup rendah. Pemupukan hara nitrogen dan fosfor dalam jumlah besar turut

memperbesar serapan kalium dari dalam tanah (Pardede *et al.*, 2013). Penyerapan K oleh tanaman dari larutan tanah tergantung pada beberapa faktor, antara lain tekstur tanah, kelembaban dan temperatur tanah, pH, serta aerasi tanah (Mengel & Kirkby, 1982). Sehubungan dengan sifatnya yang mudah bergerak dalam tanah, K mudah tercuci oleh air hujan dari zona perakaran, utamanya pada tanah dengan kapasitas tukar kation yang rendah. Kalium yang diadsorpsi sebagian besar terdapat dalam keadaan seimbang dengan kalium yang berada dalam larutan tanah yang merupakan sumber utama bagi tanaman.

Kadar N, P, K tanah bekas tambang nikel tergolong rendah sampai sedang. Pada umumnya rata-rata kadar N < 0.19%, kadar P < 10 ppm, dan K < 0.5 cmol/kg tanah. Hal ini mengindikasikan tanah bekas tambang memiliki kadar hara yang rendah-sedang.

Sumber: Openers (2020)



Daftar Pustaka

- Agus, F., Sulaeman, Suparto, Eviati, Prasetyo, B. H., Santoso, D., Widowati, L. R., Aprillani, S. E., & Manalu, F. (Eds.). (2009). *Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor: Balai Pelatihan Tanah, Departemen Pertanian.
- Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Buckman, H. O. & Brady, N. C. (1982). *Ilmu Tanah (The Nature and Properties of Soil)* (Terj. oleh Soegiman). Jakarta: Bharata Karya Aksara.
- Chaganti, V. N. & Culman, S. W. (2017). Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 3(1), hlm. 1-7. doi: <https://doi.org/10.2134/CFTM2016.10.0072>
- Farb, P. (1959). *Living Earth*. New York: Harper & Row.
- Foth, H. D. (1990). *Fundamentals of Soil Science* (Edisi 8). Canada: John Wiley & Sons Ltd.
- Hakim, N., Nyakpa, M. Y., Lubis, A. M., Nugroho, S. G., Saul, M. R., Diha, M. A., Hong, G. b., & Bailey, H. H. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Iskandar, I., Suwardi, S., & Suryaningtyas, D. T. (2012). Reklamasi Lahan-Lahan Bekas Tambang: Beberapa Permasalahan Terkait Sifat-Sifat Tanah dan Solusinya. Dalam *Prosiding Seminar Nasional: Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, hlm. 29-36.
- Mengel, K. & Kirkby, E. A. (1982). *Principles of Plant Nutrition* (Edisi 3). Swiss: International Potash Institute.
- Openers, D. (2020, 26 Februari). Sustainability, Soil Health, Crop Rotation and Good Yields. Dalam *Dutchopeners.com*. Diakses dari <https://dutchopeners.com/sustainability-and-soil-health/>, pada tanggal 1 April 2020.
- Pansu, M. & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.

- Pardede, W. W. N., Supriadi, S., & Razali, R. (2013). Survei dan Pemetaan Status Kalium Lahan Sawah pada Daerah Irigasi Bahal Gajah/Tiga Bolon Kecamatan Sidamanik. *Jurnal Online Agroekoteknologi, Universitas Sumatera Utara*, 1(3), hlm. 668-677.
- Rosmarkam, A. & Yuwono, N. W. (2002). *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: PT. Kanisius.
- Sanchez, P. A. (1976). *Properties and Management of Soils in the Tropics*. New York.
- Sanders, K. & Beasley, J. S. (2020, 23 Januari). Louisiana Home Lawn Series: Cation Exchange Capacity. Dalam *LSU AgCenter*. Diakses dari <https://www.lsuagcenter.com/profiles/aiverson/articles/page1563205546102>, pada tanggal 18 April 2020.
- Schulte, E. E. & Kelling, K. A. (2004, 21 Februari). Soil Calcium to Magnesium Ratios—Should You be Concerned? Dalam *University of Wisconsin-Extension*. Diakses dari <http://soilsextension.webhosting.cals.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/68/2014/02/A2986.pdf>
- Sofyan, R. H., Wahjunie, E. D., & Hidayat, Y. (2017). Karakterisasi Fisik dan Kelembaban Tanah pada Berbagai Umur Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Buletin Tanah dan Lahan, Institut Pertanian Bogor*, 1(1), hlm. 72-78.
- Sudaryono, S. (2009). Tingkat Kesuburan Tanah Ultisol pada Lahan Pertambangan Batubara Sangatta, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan, Pusat Teknologi Lingkungan - BPPT*, 10(3), hlm. 337-346. doi: <https://doi.org/10.29122/jtl.v10i3.1480>
- Tan, K. H. (1991). *Dasar-Dasar Kimia Tanah* (Terj. oleh Didiek Hadjar Goenadi). Yogyakarta: UGM Press.
- Umaternate, G. R., Abidjulu, J., & Wuntu, A. D. (2014). Uji Metode Olsen dan Bray dalam Menganalisis Kandungan Fosfat Tersedia pada Tanah Sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara. *Jurnal MIPA, Universitas Sam Ratulangi*, 3(1), hlm. 6-10. doi: <https://doi.org/10.35799/jm.3.1.2014.3898>
- Widiatmaka, W., Suwarno, S., & Kusmaryandi, N. (2010). Karakteristik Pedologi dan Pengelolaan Revegetasi Lahan Bekas Tambang Nikel: Studi Kasus Lahan Bekas Tambang Nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor*, 12(2), hlm. 1-10. doi: <https://doi.org/10.29244/jitl.12.2.1-10>



Bagian 5

Karakteristik Mineral Tanah Bekas Tambang Nikel

5.1. Pendahuluan

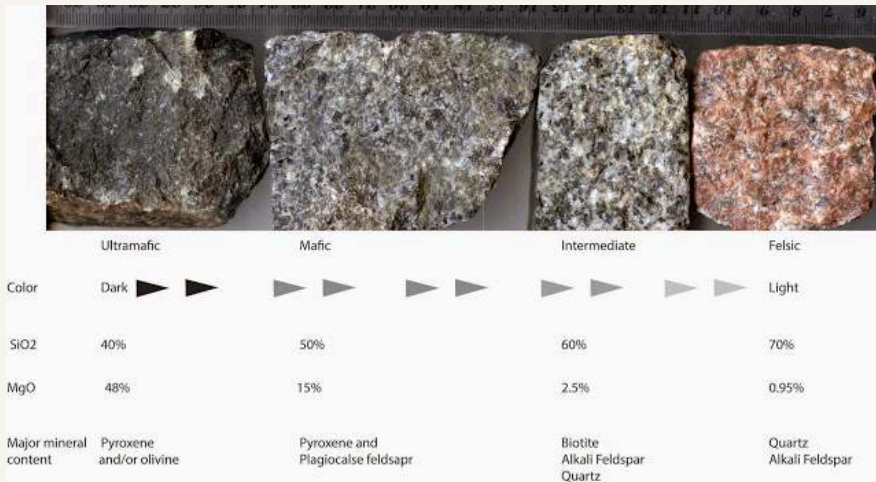
Komponen pertama dan utama dalam tanah adalah mineral, dimana presentasi mineral dalam tanah berkisar 45%, lebih banyak daripada komponen lain. Komposisi mineral dalam tanah sangat tergantung dari beberapa faktor yaitu jenis batuan induk asalnya, proses-proses yang bekerja dalam pelapukan batuan tersebut, dan tingkat perkembangan tanah. Tanah di lahan bekas tambang nikel memiliki kandungan mineral yang terbentuk dari produk pelapukan batuan ultra mafik. Secara umum, batuan ultra mafik didominasi oleh jenis dunit, peridotit dan mineral ubahan serpentinit (Goff & Lackner, 1998; Moores, 2011; Cardace *et al.*, 2014). Batuan ini umumnya tersusun atas mineral olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, plagioklas, spinel dan garnet (McDonough & Rudnick, 1998; Gill, 2010).

Tanah hasil pelapukan ultra mafik di iklim tropis, utamanya Indonesia memiliki perbedaan dengan tanah hasil pelapukan ultra mafik yang ada di iklim sedang (Alexander, 2009; Alexander & DuShay, 2011). Pengaruh iklim tropis di Indonesia menyebabkan proses pelapukan batuan ultra mafik menjadi intensif, sehingga beberapa daerah memiliki profil laterit (produk pelapukan) yang tebal (Whittaker *et al.*, 1954; Ent *et al.*, 2013; Vithanage *et al.*, 2014; Mandal *et al.*, 2015). Hal ini menjadi pertimbangan khusus dalam mengamati mineral tanah di lahan bekas tambang nikel Indonesia.

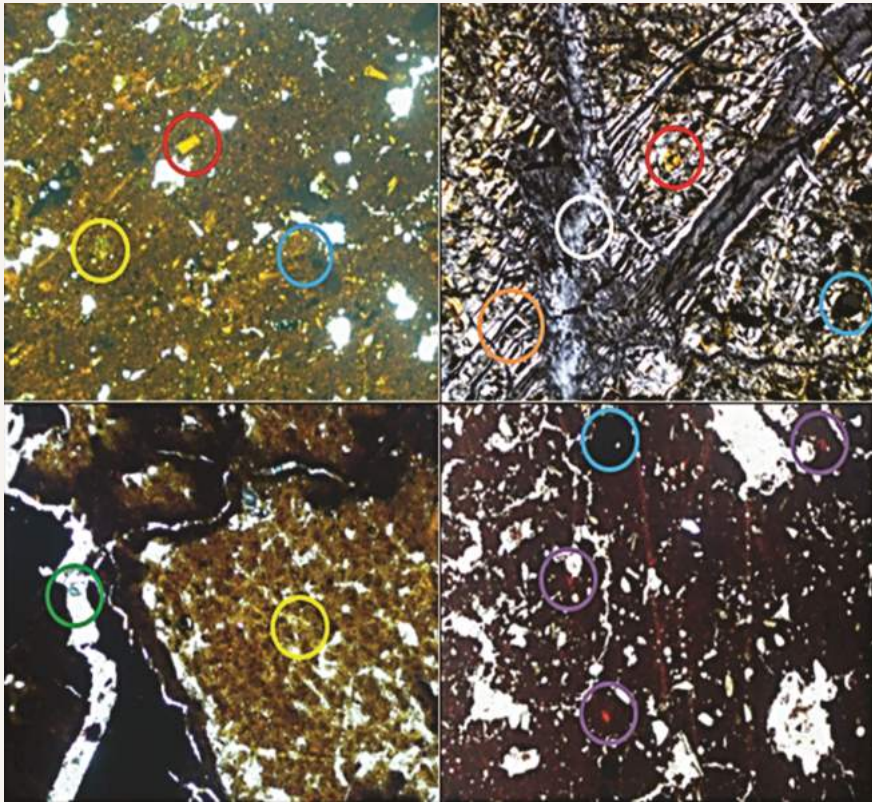
5.2. Mineral Primer

Terdapat dua jenis mineral yang dikenal sebagai mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer merupakan mineral yang telah mengalami proses kristalisasi selama proses pembekuan magma, sedangkan mineral sekunder adalah mineral yang terbentuk hasil lapukan mineral primer (Mulyanto, 2005). Mineral tanah bekas tambang di PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) didominasi oleh

mineral asal formasi batuan endapan danau (Q1), dan formasi batuan kompleks ultra mafik (Ku). Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis contoh tanah menunjukkan bahwa terdapat beberapa jenis mineral primer yang dapat ditemukan di tanah bekas tambang nikel Sorowako. Mineral tersebut terdiri dari mineral mudah lapuk, seperti; olivin, piroksen, biotit, dan plagioklas, mineral sukar lapuk seperti; kuarsa, dan mineral sekunder seperti mineral clay dan opak (Gambar 16) dan Tabel 8. Secara umum, mineral yang mendominasi adalah mineral penyusun batuan beku ultra mafik seperti olivin, piroksin, dan biotit. Selain itu, ditemukan pula plagioklas dalam jumlah rendah.



Sumber: *Igneous (2015)*



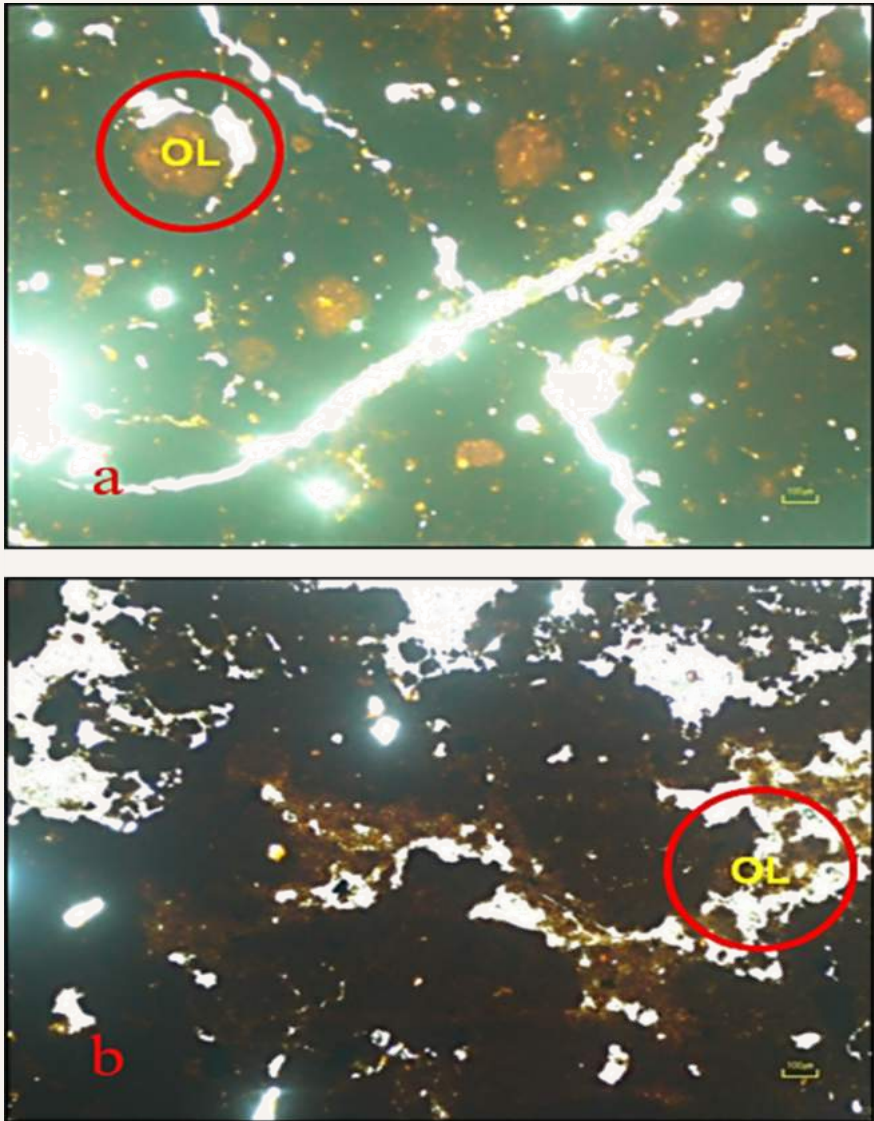
Gambar 16. Kenampakan Mineral Olivin (lingkaran kuning), Piroksin (lingkaran merah), Biotit (lingkaran ungu), Plagioklas (lingkaran hijau), Opak (lingkaran biru), Serpentin (lingkaran orange), dan Kuarsa (lingkaran putih) di Lokasi Penelitian

Tabel 8. Mikroskopis Mineral Primer dan Mikromorfologi Tanah Bekas Tambang Nikel Sorowako

No	Mineral Primer	Tipe Pori	Pedofeature
1	Olivin, Kuarsa, Biotit, Opak, Plagioklas	Packing Void, Vugh, Planes	Textural impure clay Nodule
2	Olivin, Kuarsa, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh	Amorphous Nodule
1	Olivin, Biotit, Opak, Piroksin, Kuarsa	Packing Void, Planes	Textural limpid clay Nodule
2	Olivin, Piroksin, Kuarsa	Packing Void, Vugh, Planes	Amorphous Nodule
1	Olivin, Piroksin, Kuarsa, Opak, Plagioklas	Vugh, Planes	Amorphous Nodule dan Fe-Hypocoating
2	Olivin, Piroksin, Kuarsa, Opak, Plagioklas	Packing Void, Vugh, Planes	Textural limpid clay Fe-Hypocoating
1	Serpentin, Olivin, Opak, kuarsa, Piroksin	Packing Void	Amorphous Konkresi dan Nodule
2	Serpentin, Olivin, Opak, kuarsa, Piroksin, Biotit	Packing Void	Amorphous Nodule
1	Olivin, Opak	Packing Void	Amorphous Nodule
3	Olivin, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh	Textural limpid clay
1	Olivin, Piroksin, Opak	Packing Void, Vugh	Depletion Depletion Fe-Hypocoating
2	Olivin, Piroksin, Opak, Biotit	Packing Void, Vugh, Chanel	Textural limpid clay -
1	Olivin, Piroksin, Kuarsa, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh	Amorphous -
2	Olivin, Piroksin, Kuarsa, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh, Planes	Amorphous Fe-Coating
1	Olivin, Piroksin, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh, Planes	Amorphous Fe-Hypocoating
2	Olivin, Piroksin, Biotit, Opak	Packing Void, Vugh, Planes, Chanel	Amorphous Fe-Hypocoating

Dominasi mineral olivin mengindikasikan mineral tanah di area bekas tambang nikel Sorowako tergolong ke dalam mineral peridotit. Mineral tersebut merupakan mineral yang banyak dijumpai pada bentang lahan yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan beku ultramafik. Berdasarkan keterdapatan mineral primernya, tanah area bekas tambang nikel Sorowako digolongkan ke dalam tanah yang berkembang dari hasil proses alih rupa (*transformation*) dan proses alih tempat (*translocation*) (Sutatnto, 2005). Proses alih rupa yang terjadi di zona residual kala tersier diendapkan melalui proses geomorfologi (alih tempat) ke zona deposisional di kala kuartar. Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya mineral penyusun batuan beku ultramafik seperti olivin dengan jumlah yang banyak di horizon permukaan tanah hasil endapan danau (Gambar 17).

Mineral yang terdapat di lahan bekas tambang nikel adalah mineral primer yang mudah tercuci dan bertransformasi menjadi mineral sekunder kecuali mineral kuarsa dan opak. Persentase atau perbandingan antara mineral sekunder (mudah lapuk) dan primer (sukar lapuk) menjadi indikasi tingkat perkembangan tanah. Semakin rendah persentase mineral mudah lapuk maka tingkat pelapukan tanah lokasi tersebut semakin tinggi. Pada Tabel 9 terlihat bahwa persentase kandungan mineral yang terdapat di lahan bekas tambang nikel didominasi oleh mineral mudah lapuk sedangkan mineral sukar lapuk tidak menunjukkan keberadaan yang masif. Tanah yang didominasi oleh mineral mudah lapuk mengindikasikan bahwa tanah tersebut memiliki cadangan unsur hara yang banyak dan belum mengalami proses perkembangan tanah ke tingkat lebih lanjut (Tafakresnanto & Prasetyo, 2001).



Gambar 17. Olivin (OL)

5.3. Mineral Sekunder

Wilayah yang proses pembentukannya berasal dari proses struktural, dicurigai memberikan pengaruh yang besar terhadap keberagaman mineral sekundernya. Hasil analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) (Tabel 9), menunjukkan bahwa mineral sekunder yang terdapat dalam tanah adalah vermikulit, monmorilonit, illit, klorit, dan kaolinit. Diantara mineral tersebut mineral yang sering muncul dalam grafik adalah mineral illit, klorit, dan kaolinit (Gambar 18 dan 19). Dominasi kemunculan mineral sekunder dapat menjadi bukti proses terjadinya pelapukan intensif dari batuan induk menjadi bahan induk tanah (Pulungan & Sartohadi, 2018). Selain itu, keberadaan mineral tersebut juga memberikan gambaran bahwa proses alterasi hidrotermal menjadi salah satu proses dalam perubahan batuan induk menjadi bahan induk di wilayah bekas tambang nikel Sorowako ini. Alterasi hidrotermal merupakan proses yang meliputi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur yang dihasilkan dari hasil interaksi antara fluida hidrotermal dan dinding-batuannya (Pirajno, 1992; Febriyana *et al.*, 2014).



Sumber: Zakirov (2020)

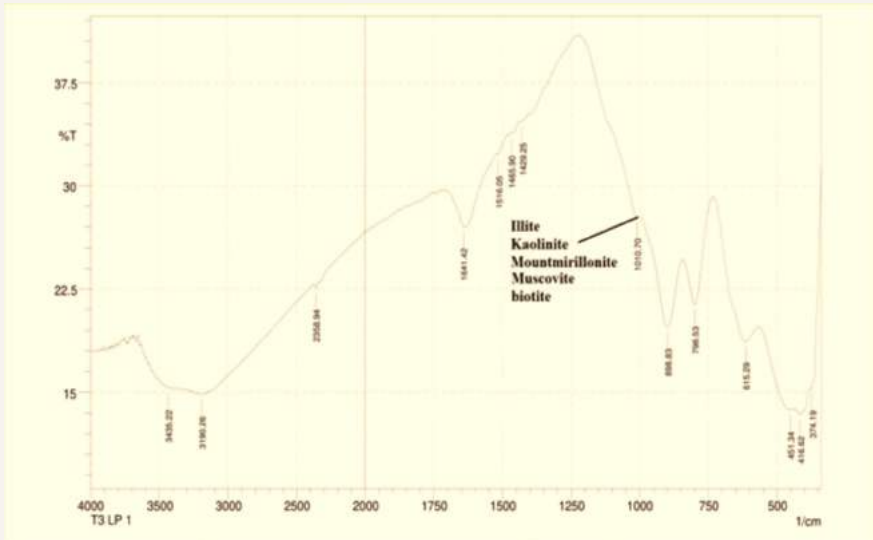
Tabel 9. Hasil Analisis FTIR Tanah Bekas Tambang Nikel Sorowako

No	Mineral liat	Intensitas	No	Mineral liat	Intensitas
1	Illite	7.754	11	Vermiculite	4.201
	Chlorite	18.135		Chlorite	24.241
	Kaolinite	4.174		Illite	42.469
2	Vermiculite	12.952	12	Kaolinite	29.737
	Illite	63.7		Montmorillonite	14.493
	Chlorite	32.729		Illite	89.324
	Kaolinite	65.551		Chlorite	92.236
3	Montmorillonite	27.699	14	Illite	5.647
	illite	27.699		Kaolinite	3.128
	Kaolinite	27.699		Illite	5.326
4	Montmorillonite	5.201	15	Chlorite	5.326
	Illite	7.851		Kaolinite	6.819
	Chlorite	18.473	16	Illite	2.423
	Kaolinite	7.23		Chlorite	2.423
5	Illite	6.007	17	Kaolinite	3.494
	Chlorite	10.543		Chlorite	21.774
	Kaolinite	5.088		Kaolinite	21.425
6	Illite	21.524	18	Illite	35.511
	Chlorite	15.474		Chlorite	46.494
	Kaolinite	17.85		Kaolinite	98.365
7	Vermiculite	30.881	19	Vermiculite	13.638
	Illite	155.329		Illite	45.1
	Chlorite	23.732		Chlorite	35.228
	Kaolinite	134.151		Kaolinite	51.969
8	Montmorillonite	27.426	20	Montmorillonite	7.653
	Illite	55.132		Chlorite	25.519
	Chlorite	31.926	21	Illite	24.188
	Kaolinite	32.584		Chlorite	27.283
9	Chlorite	21.678	22	Kaolinite	8.962
	Kaolinite	29.776		Chlorite	26.845
	Montmorillonite	4.663		Kaolinite	30.982
10	Illite	27.82	23	Montmorillonite	5.94
	Chlorite	9.919		Illite	13.521
	Kaolinite	22.777		Chlorite	26.811

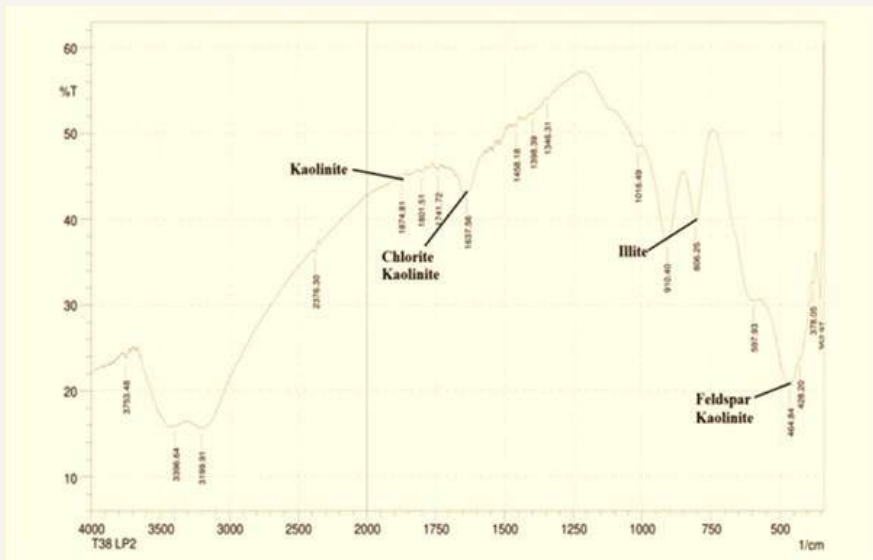
No	Mineral liat	Intensitas	No	Mineral liat	Intensitas
24	Chlorite	18.949	32	Illite	21.811
	Kaolinite	31.148		Chlorite	21.811
25	Montmorillonite	20.24	33	Kaolinite	21.811
	Illite	22.91		Illite	12.483
26	Chlorite	28.874	34	Chlorite	9.176
	Kaolinite	46.319		Kaolinite	9.176
27	Illite	31.858	35	Illite	22.345
	Chlorite	51.689		Kaolinite	47.413
28	Kaolinite	51.689	36	Montmorillonite	0.28
	Illite	16.669		illite	0.28
	Chlorite	26.156		Chlorite	14.911
	Kaolinite	19.539		Kaolinite	17.632
29	Montmorillonite	1.538	37	Illite	66.792
	Illite	33.218		Chlorite	34.049
	Chlorite	20.424		Kaolinite	52.658
	Kaolinite	22.051		Illite	37.133
30	Illite	13.751	38	Kaolinite	41.384
	Chlorite	25.851		Vermiculite	4.208
	Kaolinite	1.541		Illite	13.133
31	Chlorite	2.929		Kaolinite	7.464
	Kaolinite	4.47			

Secara umum, mineral illit, klorit, dan kaolinit dapat dijumpai bersamaan di hampir semua titik perwakilan. Mineral tersebut merupakan transformasi dari mineral primer yang ada sebelumnya. Klorit merupakan mineral ubahan dari mineral piroksin dan biotit; Illit merupakan mineral ubahan dari mineral muskovit dan biotit; sedangkan kaolinit merupakan mineral ubahan dari mineral feldspar seperti plagioklas (Gifkins *et al.*, 2005; Pirajno, 2009). Mineral primer seperti muskovit tidak ditemukan di pedon perwakilan yang diamati melalui mikroskop polarisasi, namun mineral ubahannya banyak di temui dengan intensitas yang tinggi. Hal yang sama pada mineral plagioklas ditemukan dengan tingkat sebaran

yang sangat rendah, namun mineral ubahannya dapat dijumpai di hampir semua titik pengamatan. Hal ini mengindikasikan bahwa mineral tersebut telah mengalami proses pelapukan yang sangat tinggi ke mineral sekunder.



Gambar 18. Contoh Hasil FTIR Lahan Bekas Tambang

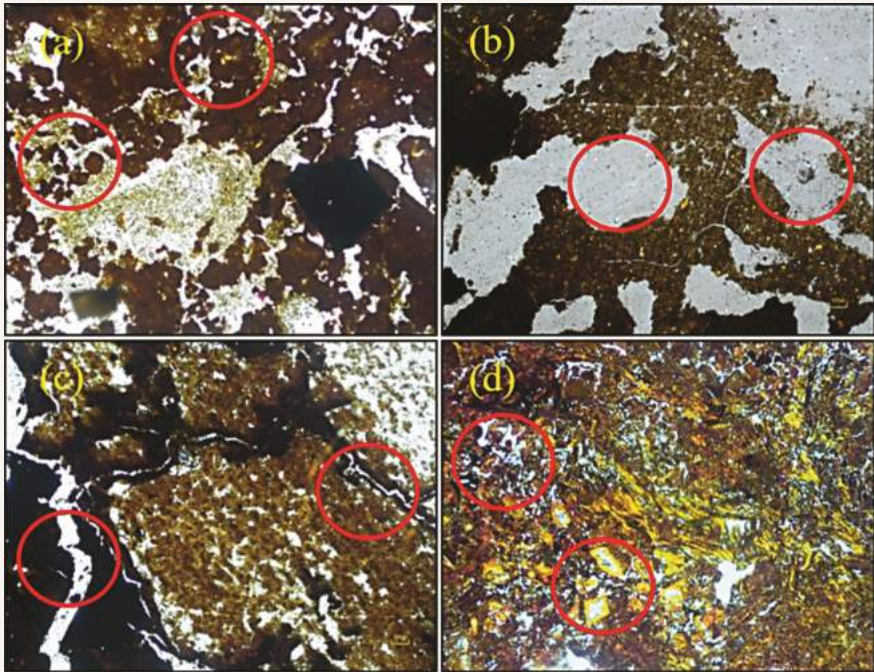


Gambar 19. Contoh Hasil FTIR Tanah Hutan

Tekstur tanah yang berkembang dari bahan lapuk memiliki kandungan liat < 30% sedangkan yang berkembang dari bahan yang diubah memiliki kandungan fraksi liat lebih tinggi yaitu > 60%. Berdasarkan hasil uji tekstur, menunjukkan bahwa persentase fraksi liat mampu mencapai < 30% sampai > 60%. Persentase liat > 30% dicurigai hasil lapukan proses alterasi propilitik dan argilik. Lokasi yang didominasi oleh mineral liat klorit merupakan hasil lapukan dari proses alterasi propilitik, sedangkan lokasi yang didominasi oleh mineral liat illit dan kaolinit merupakan hasil lapukan dari proses alterasi argilik (Binsar *et al.*, 2014). Alterasi argilik merupakan proses yang menyebabkan tanah di lokasi penelitian terdapat horizon Bt. Pirajno (2009) mengatakan bahwa pelapukan tanah hasil proses alterasi hidrotermal menyebabkan terjadinya transformasi mineral liat karena peningkatan ion H⁺ sehingga memungkinkan terbentuk lapisan argilik (Bt).

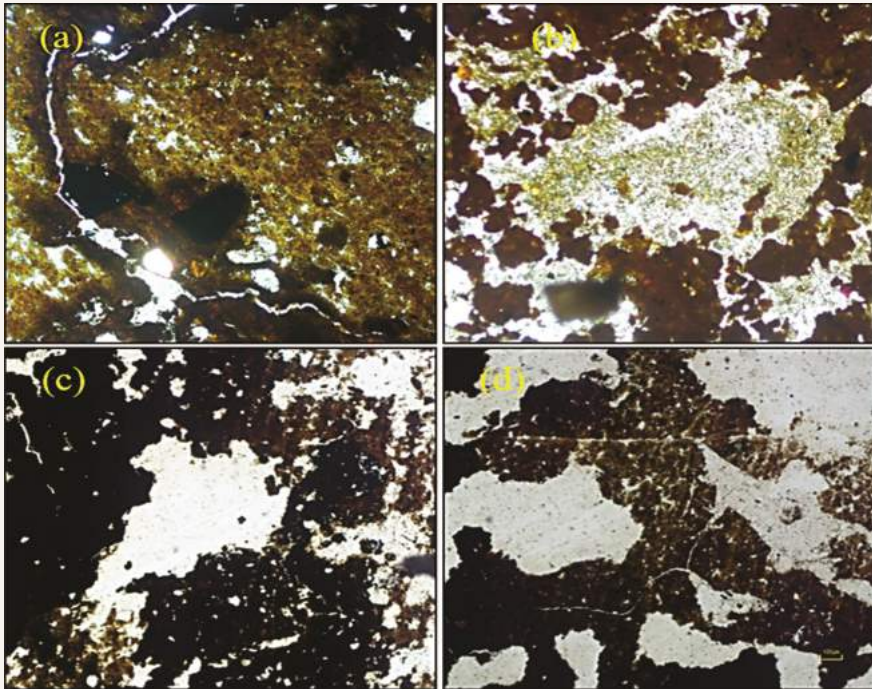
5.4. Tipe Pori dan Pedofeature

Berdasarkan Tabel 8, tipe pori di lokasi penelitian adalah *packing void*, *vugh*, *planes*, dan *channel*. Tipe pori *packing void* dapat dijumpai di semua pedon perwakilan. Perkembangan pori di setiap pedon perwakilan menunjukkan perkembangan yang tidak seragam. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan ketahanan pelapukan mineral tanah. Selain itu, bioturbasi dan antropurbasi juga menjadi faktor penyebab bedanya perkembangan pori dalam tanah.



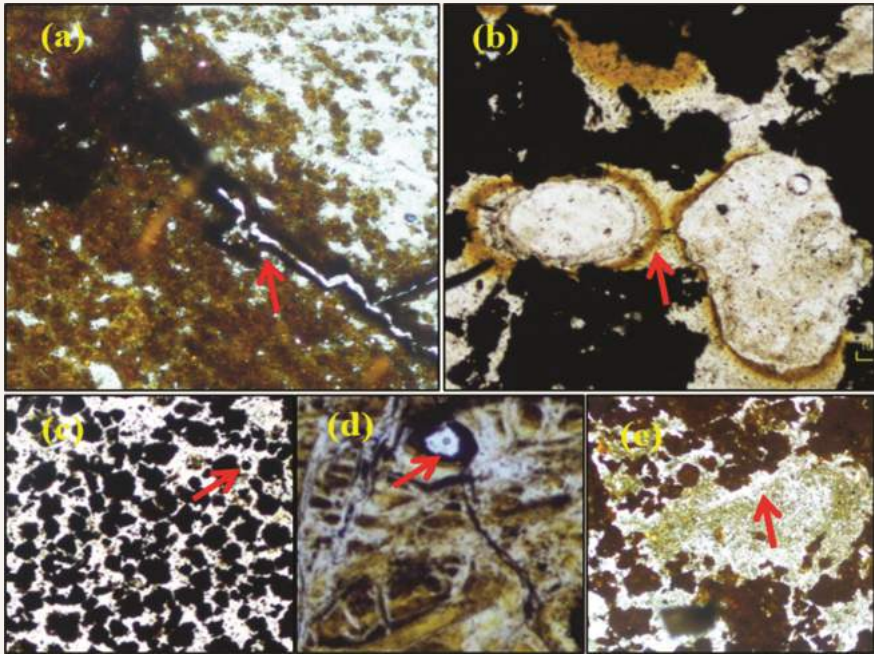
Gambar 20. (a) Chanel, (b) Vugh, (c) Planes, dan (d) Packing Void

Pada pedon perwakilan juga dapat dijumpai *pedofeature* yang menjadi salah satu ciri perkembangan tanah. Pedofeature yang terdapat di lokasi penelitian digolongkan ke dalam 3 tipe yaitu amorphous yang dicirikan dengan adanya konsentrasi bahan organik dan anorganik di dalam pedon; textural yang dicirikan dengan adanya konsentrasi fraksi ukuran butir hasil transportasi mekanis; dan depletion yang dicirikan dengan adanya komponen tertentu yang hilang seperti karbonat, senyawa gipsum, Fe/Mn, dan clay (Gambar 21) (Bullock *et al.*, 1985; Vepraskas, 2004; Schoeneberger *et al.*, 2011).



Gambar 21. (a) *Pedofeature Amorphous*, (b) *Pedofeature Depletion*, (c) *Pedofeature Textural (impure clay)*, dan (d) *Pedofeature Textural (limpid clay)*

Secara umum tipe *pedofeature* yang dominan adalah *amorphous* dan *textural* yang dapat dijumpai di hampir semua pedon perwakilan. *Pedofeature* tersebut kemudian dibedakan menjadi Fe-coating; depletion dan Fe-hypocoating; Fe-nodule dan Fe-kongresi (Gambar 22). *Coating* dan *hypocoating* terbentuk di sekeliling dinding pori tanah, sedangkan *nodule* dan kongresi dengan batas yang tegas maupun baur tersebar bersama bahan/mineral tanah. Nodule dan kongresi merupakan hasil dari proses reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara periodik (musim hujan dan kemarau) di dalam tanah (Rayes, 2000; Kovda & Mermut, 2010).



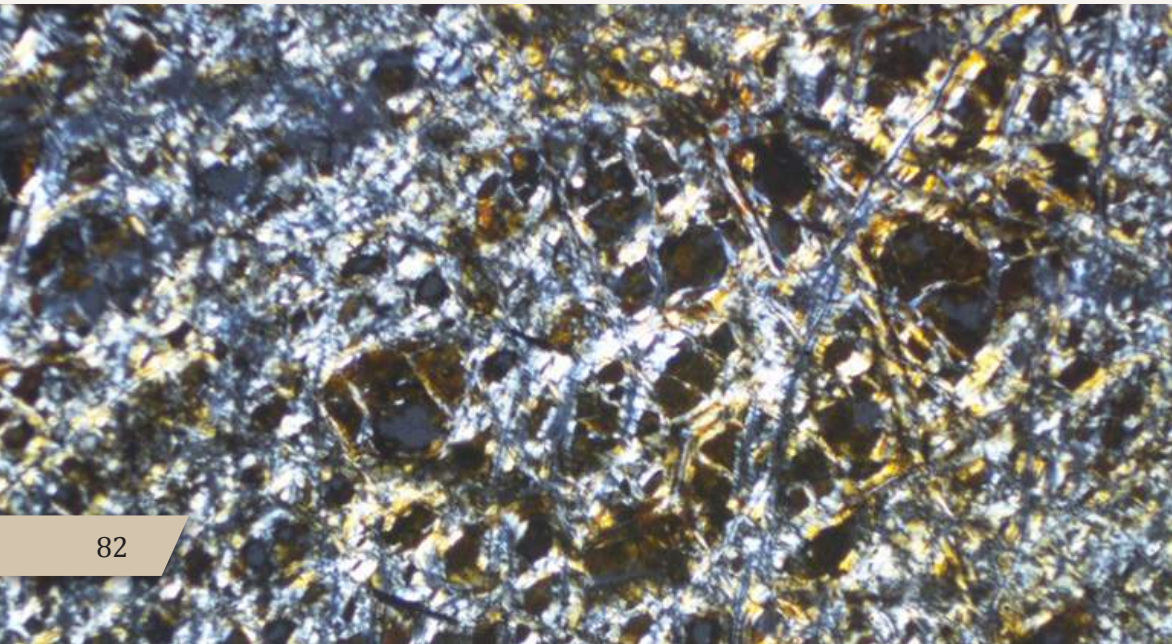
Gambar 22. (a) *Fe-Hypocoating*, (b) *Fe-Coating*, (c) *Nodule*, (d) *Konkresi*, dan (e) *Depletion Fe-Hypocoating*

Daftar Pustaka

- Alexander, E. B. (2009). Soil and Vegetation Differences from Peridotite to Serpentinite. *Northeastern Naturalist*, 16(5), hlm. 178-192. doi: <https://doi.org/10.1656/045.016.0515>
- Alexander, E. B. & DuShey, J. (2011). Topographic and Soil Differences from Peridotite to Serpentinite. *Geomorphology*, 135(3-4), hlm. 271-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.02.007>
- Binsar, M. T. A., Aribowo, Y., & Widiarso, D. A. (2014). Geologi, Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Daerah Ciurug dan Sekitarnya, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Geological Engineering E-Journal*, 6(2), hlm. 338-352.
- Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G., & Tursina, T. (1985). *Handbook for Soil Thin Section Description*. Wolverhampton: Waine Research.
- Cardace, D., Meyer-Dombard, D. A. R., Olsen, A. A., & Parenteau, M. N. (2014). Bedrock and Geochemical Controls on Extremophile Habitats. Dalam *Plant Ecology and Evolution in Harsh Environments*, diedit oleh Nishanta Rajakaruna, Robert S. Boyd, & Tanner B. Harris. Hauppauge: Nova Science Publishers.
- Ent, A. v. d., Baker, A. J. M., Balgooy, M. M. J. v., & Tjoa, A. (2013). Ultramafic Nickel Laterites in Indonesia (Sulawesi, Halmahera): Mining, Nickel Hyperaccumulators and Opportunities for Phytomining. *Journal of Geochemical Exploration*, 128, hlm. 72-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.01.009>
- Febriyana, R. D., Aribowo, Y., & Widiarso, D. A. (2014). Geologi dan Alterasi Hidrotermal Daerah Bantar Karet dan Sekitarnya, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Geological Engineering E-Journal*, 6(1), hlm. 218-232.
- Gifkins, C., Herrmann, W., & Large, R. R. (2005). *Altered Volcanic Rocks: A Guide to Description and Interpretation*. Australia: Centre for Ore Deposit Research.
- Gill, R. (2010). *Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Goff, F. & Lackner, K. S. (1998). Carbon Dioxide Sequestering Using Ultramafic Rocks. *Environmental Geosciences*, 5(3), hlm. 89-101.

- Igneous, R. (2015, 6 Januari). How to Classify Igneous Rocks Into (Ultramafic, Mafic, Intermediate and Felsic)? Dalam *Geology In*. Diakses dari <http://www.geologyin.com/2014/12/how-to-classify-igneous-rocks-into.html>, pada tanggal 15 April 2020.
- Kovda, I. & Mermut, A. R. (2010). Vertic Features. Dalam *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, diedit oleh Georges Stoops, Vera Marcelino, & Florias Mees, (hlm. 109-127). Amsterdam: Elsevier B.V.
- Mandal, A., Mohanty, W. K., Sharma, S. P., & Gupta, S. (2015). Laterite Covered Mafic-Ultramafic Rocks: Potential Target for Chromite Exploration a Case Study from Southern Part of Tangarparha, Odisha. *Journal of the Geological Society of India*, 86, hlm. 519-529. doi: <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0342-0>
- McDonough, W. F. & Rudnick, R. L. (1998). Mineralogy and Composition of the Upper Mantle. Dalam *Ultrahigh-Pressure Mineralogy: Physics and Chemistry of the Earth's Deep Interior*, diedit oleh Russell J. Hemley, (Vol. 37, hlm. 139-164). Washington D.C.: Mineralogical Society of America.
- Meunier, A. (2005). *Clays*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.
- Moores, E. M. (2011). Serpentinites and Other Ultramafic Rocks: Why They Are Important for Earth's History and Possibly for Its Future. Dalam *Serpentine: The Evolution and Ecology of a Model System*, diedit oleh Susan Harrison & Nishanta Rajakaruna, (hlm. 3-28). Berkeley: University of California Press.
- Mulyanto, B. (2005). *Batuan Induk Tanah dan Proses Pembentukannya*. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Pirajno, F. (1992). *Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Pulungan, N. A. & Sartohadi, J. (2018). New Approach to Soil Formation in the Transitional Landscape Zone: Weathering and Alteration of Parent Rocks. *Journal of Environments*, 5(1), hlm. 1-7. doi: <https://doi.org/10.20448/journal.505.2018.51.1.7>
- Rayes, M. L. (2000). "Karakteristik, Genesis dan Klasifikasi Tanah Sawah Berasal dari Bahan Vulkan Merapi". *Disertasi*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., & Benham, E. C. (Eds.). (2011). *Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0*. Lincoln: Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.
- Sutatnto, R. (2005). *Dasar Dasar Ilmu Tanah: Konsep dan Kenyataan*. Yogyakarta: PT. Kanisius.
- Tafakresnanto, C. & Prasetyo, B. H. (2001). Peranan Data Mineral Tanah dalam Menunjang Interpretasi Sumberdaya Tanah. *Jurnal Tanah dan Air, Universitas Pembangunan Nasional*, 2(1), hlm. 47-56.
- Vepraskas, M. J. (2004). *Redoximorphic Features for Identifying Aquic Conditions*. North Carolina: North Carolina Agricultural Research Service.
- Vithanage, M., Rajapaksha, A. U., Oze, C., Rajakaruna, N., & Dissanayake, C. B. (2014). Metal Release from Serpentine Soils in Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, hlm. 3415-3429. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3626-8>
- Whittaker, R. H., Walker, R. B., & Kruckeberg, A. R. (1954). The Ecology of Serpentine Soils. *Ecology*, 35(2), hlm. 258-288. doi: <https://doi.org/10.2307/1931126>
- Zakirov, A. Red Earth Soil Background Tropical. Dalam *Shutterstock, Inc.* Diakses dari <https://www.shutterstock.com/search/oxisols>, pada tanggal 5 April 2020.





Sumber: Perbedaan (2019)

Bagian 6
**Karakteristik
Biologi Tanah
Bekas Tambang Nikel**

6.1. Pendahuluan

Tanah bekas tambang mengalami kerusakan sifat fisik tanah utamanya kehancuran agregat tanah dan tercampurnya lapisan atas dan bawah. Kehancuran agregat tanah akan berdampak pada rusaknya ruang pori antar agregat yang akan memengaruhi kehidupan organisme di dalam tanah. Hasil penelitian di beberapa tanah bekas tambang menunjukkan penurunan jumlah organisme tanah seperti cacing tanah, bakteri dan cendawan yang hidup di dalam tanah utamanya yang terdapat di lapisan atas. *Swift et al. (2004)* menyatakan bahwa tanah lapisan atas merupakan habitat bagi bermacam-macam mikroorganisme dan fauna tanah yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Peranan tersebut antara lain: membantu menyediakan hara bagi tanaman, mengatur daur hara dalam tanah, mensintesis dan mengurai bahan organik tanah, memengaruhi ketersediaan air tanah, dan memengaruhi kesehatan tanaman melalui parasitisme, patogenitas ataupun sebagai predator.

6.2. Makro-Organisme Tanah

Makrofauna tanah mempunyai peran yang sangat penting dalam suatu habitat. Salah satu peran makrofauna tanah adalah menjaga kesuburan tanah melalui perombakan bahan organik, distribusi hara, peningkatan aerasi tanah dan sebagainya. Menurut *Rousseau et al. (2013)*, makrofauna tanah paling sensitif terhadap perubahan dalam penggunaan lahan, sehingga dapat digunakan untuk menduga kualitas lahan. Dalam menjalankan aktivitas hidupnya, makrofauna tanah memerlukan persyaratan tertentu. Kondisi lingkungan merupakan faktor utama yang menentukan kelangsungan hidup makro-organisme tersebut, yaitu: iklim (curah hujan, suhu), tanah (kemasaman, kelembaban, suhu tanah, hara), dan vegetasi (hutan, padang rumput) serta cahaya matahari (*Hakim et al., 1986*).

Menurut Notohadiprawiro (1999), makrofauna tanah lebih banyak ditemukan pada daerah dengan keadaan lembab dan kondisi tanah yang memiliki tingkat kemasaman lemah sampai netral (Sugiyarto *et al.*, 2007). Oleh karena itu, keberadaan makrofauna tanah dapat menjadi penduga kualitas lingkungan, terutama kondisi tanah. Hasil pengamatan di areal reklamasi bekas tambang nikel di Sorowako menunjukkan jumlah cacing tanah tergolong sangat sedikit, semut dan rayap berjumlah sedang pada beberapa titik pengamatan utamanya di areal yang sudah direklamasi > 15 tahun. Sedangkan di areal hutan alami (*original forest*) ditemukan cacing, semut dan rayap dalam jumlah lebih banyak dibandingkan areal reklamasi.

6.3. Kelimpahan Arbuscular Mycorrhiza (AM)

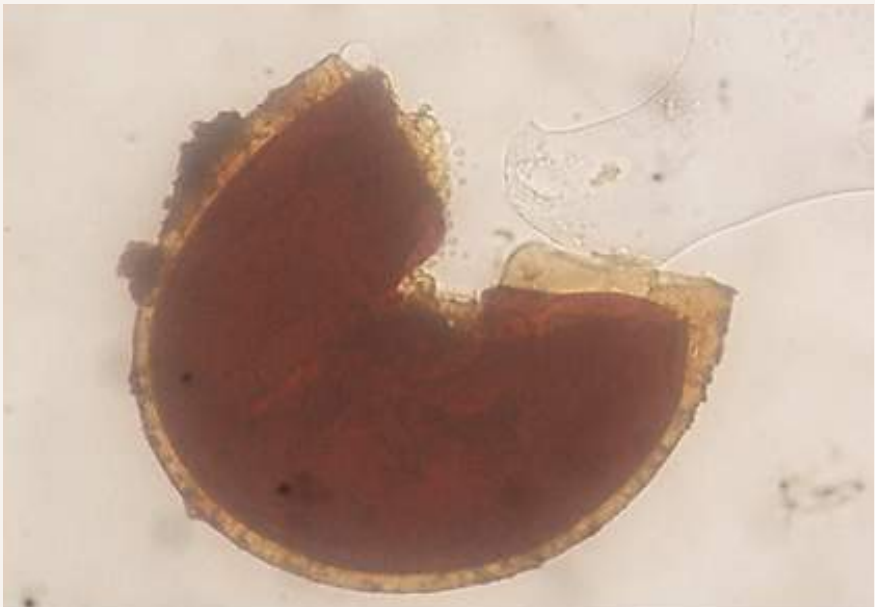
Hasil identifikasi kelimpahan mikoriza di areal reklamasi tanah bekas tambang nikel Sorowako menunjukkan keberadaan 5 spesies AM yaitu *Glomus sp.*, *Acaulospora sp1.*, *Acaulospora sp2.*, *Scutelospora sp.*, *Gigaspora sp.* dengan jumlah bervariasi antara 12 – 33 spora/100 g sampel tanah. Jenis mikoriza tersebut secara jelas ditunjukkan pada Gambar 23, Gambar 24., Gambar 25, Gambar 26 dan Gambar 27. *Morfotype* mikoriza umumnya bulat berwarna hijau, kuning, bening dan hitam berukuran besar dan kecil.



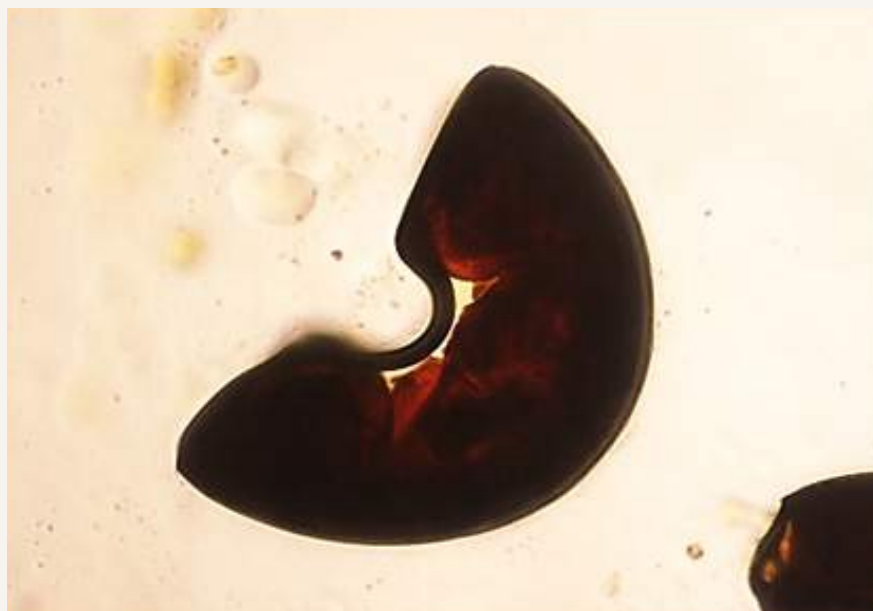
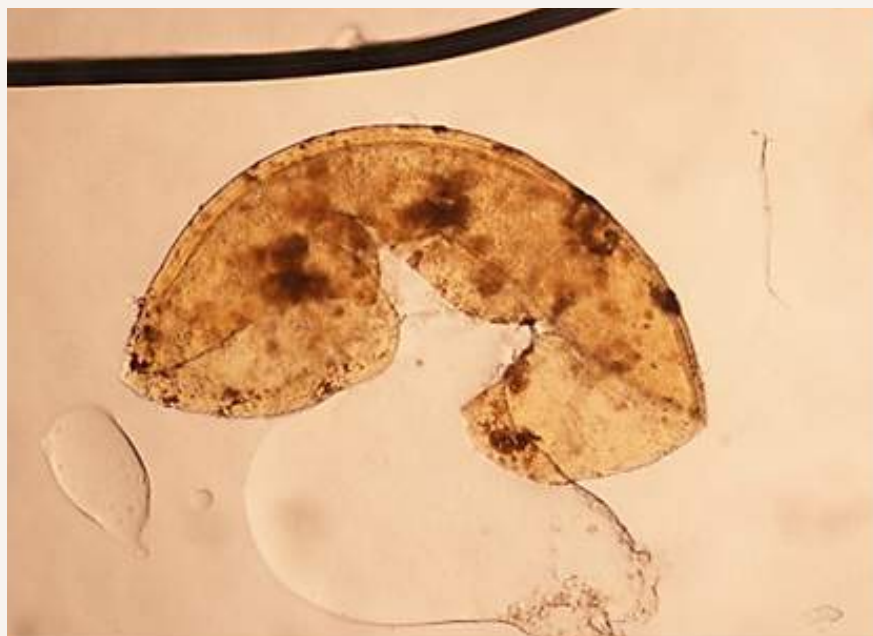
Sumber: Administrator (2019)



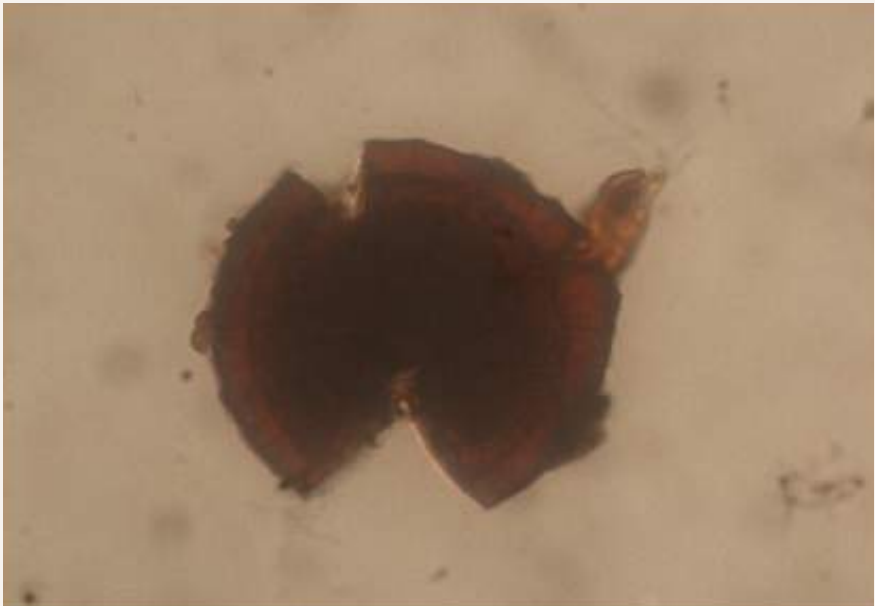
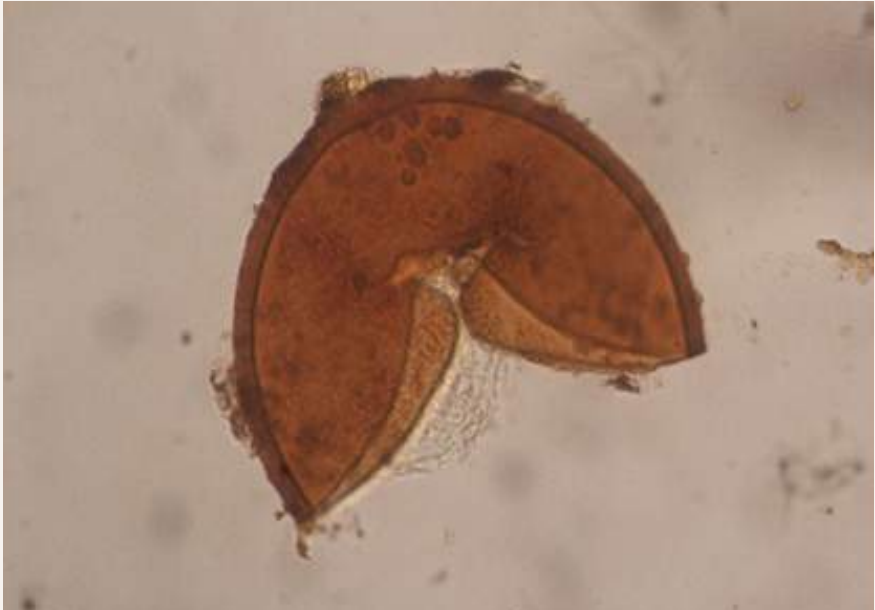
Gambar 23. *Arbuscular Mycorrhiza* Jenis *Acaulospora sp1*



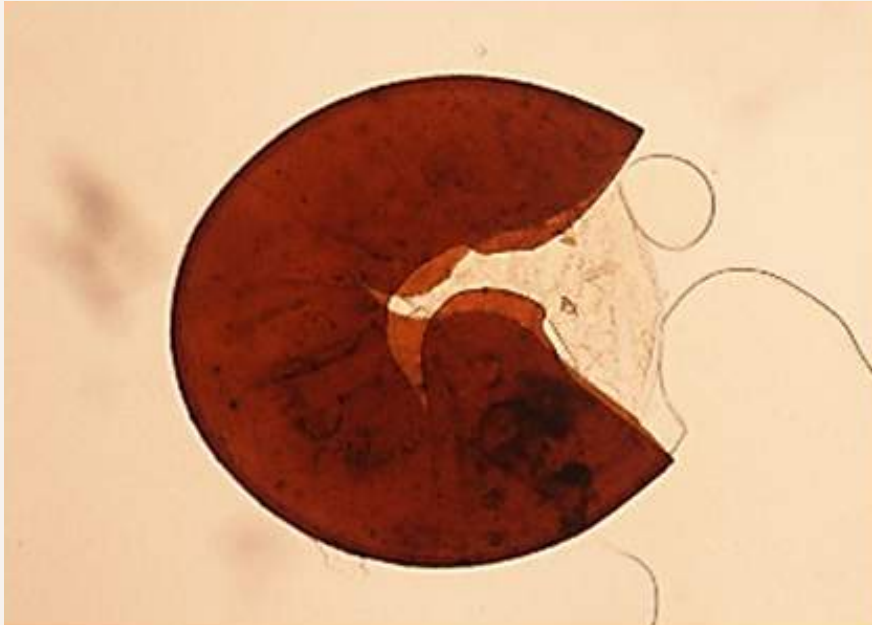
Gambar 24. *Arbuscular Mycorrhiza* Jenis *Acaulospora* sp2



Gambar 25. *Arbuscular Mycorrhiza* Jenis *Gigaspora* sp.

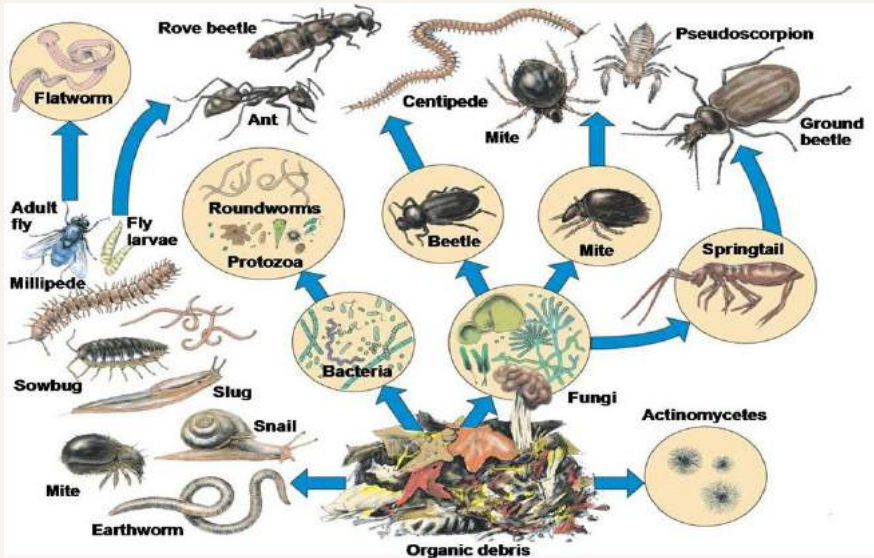


Gambar 26. *Arbuscular Mycorrhiza* Jenis *Glomus* sp.



Gambar 27. *Arbuscular Mycorrhiza* Jenis *Scutelospora* sp.

Hal serupa juga ditemukan dalam penelitian [Nadalia & Pulunggono \(2020\)](#) menunjukkan jumlah jamur dalam tanah di area/blok reklamasi tanah bekas tambang nikel Sorowako lebih banyak ditemukan di tanah yang memiliki bahan organik lebih tinggi. Jumlah bahan organik yang lebih tinggi mengakibatkan aktivitas mikroorganismen di dalam tanah juga meningkat. Beberapa bahan yang dapat merangsang aktivitas mikroba tanah, seperti sisa kayu, serbuk gergaji, atau sisa kotoran hewan ternak (pupuk kandang) yang dapat memberikan unsur hara utamanya N, P, dan C organik. Pada pH tanah yang agak masam, jamur mendominasi karena bakteri dan aktinomisetes tidak bisa hidup dengan baik dalam kondisi ini. Selain itu, populasi jamur semakin meningkat dengan semakin tinggi kandungan C-organik tanah. Hal ini disebabkan karena jamur bersifat heterotrof yang menggunakan C organik sebagai sumber energinya.



Sumber: Butler (2004)



Daftar Pustaka

- Administrator. (2019, 29 Desember). Rhizo-vam Basic. Dalam *AS Union*. Diakses dari <http://www.asunion.rs/mikoriza/rhizo-vam-basic/>, pada tanggal 4 Agustus 2020.
- Butler, M. J. (2004, 13 Agustus). The Ecology and Conservation of Natural Resources: The Nature of Soils. Dalam *Texas Tech University*. Diakses dari http://www.rw.ttu.edu/2302_butler/chapter6.htm, pada tanggal 12 September 2013.
- Hakim, N., Nyakpa, M. Y., Lubis, A. M., Nugroho, S. G., Saul, M. R., Diha, M. A., Hong, G. b., & Bailey, H. H. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Nadalia, D. & Pulunggono, H. B. (2020). Soil Characteristics of Post-Mining Reclamation Land and Natural Soil without Top Soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(2), hlm. 2011-2016. doi: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2011>
- Notohadiprawiro, T. (1999). *Tanah dan Lingkungan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Perbedaan. (2019, 18 Juli). Perbedaan Ektomikoriza dan Endomikoriza. Dalam *budisma.net*. Diakses dari <https://perbedaan.budisma.net/perbedaan-ektomikoriza-dan-endomikoriza.html>, pada tanggal 7 April 2020.
- Rousseau, L., Fonte, S. J., Téllez, O., Hoek, R. d., & Lavelle, P. (2013). Soil Macrofauna as Indicator of Soil Quality and Land Use Impact in Smallholder Agroecosystems of Western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27, hlm. 71-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.020>
- Sugiyarto, S., Efendi, M., Mahajoeno, E., Sugito, Y., Handayanto, E., & Agustina, L. (2007). Preferensi Berbagai Jenis Makrofauna Tanah terhadap Sisa Bahan Organik Tanaman pada Intesitas Cahaya yang Berbeda. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity, Universitas Sebelas Maret*, 7(4), hlm. 96-100.
- Swift, M. J., Izac, A. M. N., & Noordwijk, M. v. (2004). Biodiversity and Ecosystem Services in Agricultural Landscapes—Are We Asking the Right Questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), hlm. 113-134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>



Bagian 7

Potensi dan Kendala Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Nikel

7.1. Potensi Tanah Bekas Tambang

Tanah bekas tambang saat ini tersebar dengan jumlah yang begitu besar di berbagai wilayah. Lahan bekas tambang seringkali memiliki pandangan negatif dalam hal keberlanjutan lingkungan. Beberapa faktor menjadi alasan utama seperti kerusakan fisik dan kimia tanah (Allo, 2016), percepatan erosi (Sivakumar & Stefanski, 2007; Li *et al.*, 2017), biodiversitas yang menurun (Scanlon *et al.*, 2005; Milanova & Telnova, 2007; Matsa & Muringaniza, 2011; Yadav *et al.*, 2012), kontaminasi logam berat (Nakajima *et al.*, 2017), sampai kepada dampaknya ke perubahan iklim (Henderson-Sellers *et al.*, 1993; McGuffie *et al.*, 1995; Sud *et al.*, 1996). Akan tetapi, hal tersebut tidak menjadi alasan untuk dikembangkan menjadi penggunaan lahan tertentu. Berkurangnya lahan ideal untuk pertanian ditengah tingginya alih fungsi lahan menjadi alasan mengapa lahan sub optimal seperti lahan bekas tambang memiliki potensi yang begitu besar dalam memenuhi peningkatan produksi pertanian. Beberapa lahan bekas tambang di dunia telah di rehabilitasi dengan pertanian dan kehutanan sebagai penggunaan lahan dominan pasca-penambangan (Miao & Marrs, 2000).

Lahan bekas tambang memilki beberapa potensi besar yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai ekonomis lahan. Narrei & Osanloo (2011) merumuskan alternatif penggunaan lahan yang mungkin bisa digunakan di lahan bekas tambang (Tabel 10). Rumusan tersebut merupakan hasil analisis yang didasari oleh faktor ekonomi, sosial, teknis, dan lokasi tambang. Tentunya jika ditinjau dari aspek teknis, kegiatan pertanian dan kehutanan tidak semudah itu dijalankan. Dibutuhkan suatu upaya peningkatan kualitas tanah sehingga lahan bekas tambang tidak didominasi oleh faktor pembatas tumbuhnya tanaman.

Tabel 10. Alternatif Penggunaan Lahan untuk Lahan Bekas Tambang

No	Land Use Types	Exercised Post-Mining Land Uses
1	Agriculture	Arable farmland, garden, pasture or hay-land, nursery.
2	Forestry	Lumber production, woodland, shrubs and native forestation
3	Lake or pool	Aquaculture, sailing, swimming, water supply.
4	Intensive recreation	Sport field, sailing, swimming, fishing pond, hunting.
5	Non-intensive recreation	Park and open green space, museum or exhibition of mining innovations
6	Construction	Residential, commercial (e.g. Shopping center), industrial (e.g. Factory), educational (e.g. University), sustainable community.
7	Conservation	Wildlife habitat, water supply (surface and groundwater).
8	Pit backfilling	Possibility of landfill (as last resort).

Sumber: Narrei & Osanloo (2011)

Penambangan dapat mencemari tanah di area yang luas. Kegiatan pertanian di dekat proyek pertambangan mungkin sangat terpengaruh. Menurut sebuah studi yang ditugaskan oleh Uni Eropa, “Operasi penambangan secara rutin memodifikasi lanskap di sekitarnya dengan memaparkan material tanah yang sebelumnya tidak terganggu”. Erosi tanah yang terbuka, bijih mineral yang diekstraksi, *tailing*, dan material halus dalam timbunan batuan sisa dapat menghasilkan muatan sedimen yang substansial ke perairan permukaan dan cara drainase. Selain itu, tumpahan dan kebocoran bahan berbahaya dan endapan debu angin yang terkontaminasi dapat menyebabkan kontaminasi tanah.

Saat ini kegiatan pertanian di lahan bekas tambang nikel telah diupayakan. Beberapa peneliti (Gove *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2011) telah melakukan uji coba tanaman budidaya *hyperaccumulator* logam dengan hasil sebagian besar mampu mengekstraksi logam. Selain itu, beberapa peneliti juga mencoba tanaman jenis kacang-kacangan di tanah laterit.

Hasilnya, selama periode percobaan, tanaman kacang-kacangan seperti kedelai tumbuh dengan baik tanpa gejala toksisitas Ni (Syam *et al.*, 2016). Tanaman kacang (legum) memiliki kemampuan untuk mentolerir logam berat tingkat tinggi di dalam tanah (Syam *et al.*, 2016), dan memperbaiki nitrogen atmosfer; melalui kehadiran bakteri *Rhizobium* pengikat N_2 (Migliorati *et al.*, 2015). Hasil ini memberikan gambaran bahwa lahan bekas tambang nikel masih memiliki potensi untuk kembali diolah. Lebih baik lagi jika dibarengi dengan tanaman konservasi dan tanaman pioner. Selain memperbaiki tutupan lahan, pola tanam campuran akan meningkatkan keragaman serasah tanaman yang dikembalikan ke tanah, sehingga meningkatkan keanekaragaman organisme pengurai serasah (Brussaard, 2012).

7.2. Kendala Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Nikel

Tanah bekas tambang nikel saat ini belum dimanfaatkan dengan baik untuk kepentingan masyarakat luas, utamanya bidang pertanian. Banyak kasus penambangan di seluruh dunia menyebabkan tanah terkontaminasi dengan bahan-bahan logam (Navarro *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2014; Nakajima *et al.*, 2017). Hal yang sama dengan sifat-sifat tanah, rata-rata lapisan tanah yang dikembalikan merupakan campuran horizon-horizon tanah hasil kerukan hingga kedalaman 20 meter. Stabilitas lereng dan agregat tanah tentunya menjadi lemah yang berdampak kepada tingginya potensi tanah tererosi. Bisa dipastikan kegiatan penambangan telah merubah kondisi lahan sebelumnya ke kondisi yang marginal.

Tanah hasil lapukan batuan ultra mafik memiliki potensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tanah berkembang lainnya, karena pada umumnya tanah ini bereaksi masam hingga sangat masam, dan mempunyai kapasitas tukar kation rendah (Prasetyo, 2009). Tanah hasil lapukan batuan ultra mafik umumnya

kekurangan nutrisi mineral tanaman esensial seperti fosfor dan kalium, memiliki rasio antara kalsium-magnesium yang tidak seimbang, dan memiliki unsur-unsur fitotoksik tertentu dengan konsentrasi yang tinggi (nikel, kobalt dan mangan) (Brady *et al.*, 2005; Kazakou *et al.*, 2008). Tanaman yang tumbuh di tanah tersebut harus bersaing dengan serangkaian *stressor edaphic*.

Penanganan faktor pembatas menjadi kunci atas kendala-kendala yang selama ini terjadi dalam rehabilitasi lahan bekas tambang. Hal ini mengacu dari beberapa kasus dalam pengelolaan sumber daya lahan bekas tambang. Beberapa tanaman tidak sesuai jika dikembangkan di lahan tersebut. Hal ini dikarenakan tingginya tingkat kontaminasi logam dalam tanah utamanya Ni, Cr, Co, dan beberapa kasus sifat fisik tanah yang rusak.



Daftar Pustaka

- Allo, M. K. (2016). Kondisi Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Bekas Tambang Nikkel serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Trengguli dan Mahoni. *Jurnal Hutan Tropis, Universitas Lambung Mangkurat*, 4(2), hlm. 207-217.
- Brady, K. U., Kruckeberg, A. R., & Jr., H. D. B. (2005). Evolutionary Ecology of Plant Adaptation to Serpentine Soils. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36, hlm. 243-266. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105730>
- Brussaard, L. (2012). Ecosystem Services Provided by the Soil Biota. Dalam *Soil Ecology and Ecosystem Services*, diedit oleh Diana H. Wall, *et al.*, (hlm. 45-58). United Kingdom: Oxford University Press.
- Gove, B., Hutchinson, J. J., Young, S. D., Craigon, J., & McGrath, S. P. (2002). Uptake of Metals by Plants Sharing a Rhizosphere with the Hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*. *International Journal of Phytoremediation*, 4(4), hlm. 267-281. doi: <https://doi.org/10.1080/15226510208500087>
- Henderson-Sellers, A., Dickinson, R. E., Durbidge, T. B., Kennedy, P. J., McGuffie, K., & Pitman, A. J. (1993). Tropical Deforestation: Modelling Local to Regional-Scale Climate Change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D4), hlm. 7289-7315. doi: <https://doi.org/10.1029/92JD02830>
- Jiang, C.-a., Wu, Q.-T., Sterckeman, T., Schwartz, C., Sirguey, C., Ouvrard, S., Perriguy, J., & Morel, J.-L. (2010). Co-Planting can Phytoextract Similar amounts of Cadmium and Zinc to Mono-Cropping from Contaminated Soils. *Ecological Engineering*, 36(4), hlm. 391-395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.005>
- Kazakou, E., Dimitrakopoulos, P. G., Baker, A. J. M., Reeves, R. D., & Troumbis, A. Y. (2008). Hypotheses, Mechanisms and Trade-Offs of Tolerance and Adaptation to Serpentine Soils: From Species to Ecosystem Level. *Biological Reviews*, 83(4), hlm. 495-508. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2008.00051.x>
- Li, J., Yang, L., Pu, R., & Liu, Y. (2017). A Review on Anthropogenic Geomorphology. *Journal of Geographical Sciences*, 27(1), hlm. 109-128. doi: <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1367-7>

- Li, Z., Ma, Z., Kuijp, T. J. v. d., Yuan, Z., & Huang, L. (2014). A Review of Soil Heavy Metal Pollution from Mines in China: Pollution and Health Risk Assessment. *Science of the Total Environment*, 468-469, hlm. 843-853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.090>
- Matsa, M. & Muringaniza, K. (2011). An Assessment of the Land Use and Land Cover Changes in Shurugwi District, Midlands Province, Zimbabwe. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 4(2), hlm. 88-100. doi: <https://doi.org/10.4314/ejesm.v4i2.10>
- McGuffie, K., Henderson-Sellers, A., Zhang, H., Durbidge, T. B., & Pitman, A. J. (1995). Global Climate Sensitivity to Tropical Deforestation. *Global and Planetary Change*, 10(1-4), hlm. 97-128. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-8181\(94\)00022-6](https://doi.org/10.1016/0921-8181(94)00022-6)
- Miao, Z. & Marrs, R. (2000). Ecological Restoration and Land Reclamation in Open Cast Mines in Shanxi Province, China. *Journal of Environmental Management*, 59(3), hlm. 205-215. doi: <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0353>
- Migliorati, M. D. A., Bell, M., Grace, P. R., Scheer, C., Rowlings, D. W., & Liu, S. (2015). Legume Pastures can Reduce N₂O Emissions Intensity in Subtropical Cereal Cropping Systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 204, hlm. 27-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.007>
- Milanova, E. V. & Telnova, N. O. (2007). Land-Use and Land-Cover Change Study in the Transboundary Zone of Russia-Norway. Dalam *Man in the Landscape Across Frontiers: Landscape and Land Use Change in Central European Border Regions*. Faculty of Science, Charles University, hlm. 123-133.
- Nakajima, K., Nansai, K., Matsubae, K., Tomita, M., Takayanagi, W., & Nagasaka, T. (2017). Global Land-Use Change Hidden Behind Nickel Consumption. *Science of the Total Environment*, 586, hlm. 730-737. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.049>
- Narrei, S. & Osanloo, M. (2011). Post-Mining Land-Use Methods Optimum Ranking, Using Multi Attribute Decision Techniques with Regard to Sustainable Resources Management. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 2(11), hlm. 65-76.
- Navarro, M. C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M. J., Vidal, J., Tovar, P. J., & Bech, J. (2008). Abandoned Mine Sites as a Source of Contamination by Heavy Metals: A Case Study in a Semi-Arid Zone. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2-3), hlm. 183-193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.011>

- O'Dell, R. E. & Rajakaruna, N. (2011). Intraspecific Variation, Adaptation, and Evolution. Dalam *Serpentine: The Evolution and Ecology of a Model System*, diedit oleh Nishanta Rajakaruna & Susan Harrison, (hlm. 97-138). Berkeley: University of California Press.
- Prasetyo, B. H. (2009). Red Soils from Various Parent Materials in Indonesia: The Prospect and Their Management Strategic. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 3(1), hlm. 47-60.
- Scanlon, B. R., Reedy, R. C., Stonestrom, D. A., Prudic, D. E., & Dennehy, K. F. (2005). Impact of Landuse and Land Cover Change on Groundwater Recharge and Quality in The Southwestern US. *Global Change Biology*, 11(10), hlm. 1577-1593. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01026.x>
- Sivakumar, M. V. K. & Stefanski, R. (2007). Climate and Land Degradation — An Overview. Dalam *Climate and Land Degradation*, diedit oleh Mannava V. K. Sivakumar & Ndegwa Ndiang'ui, (hlm. 105-135). Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.
- Sud, Y. C., Lau, W. K.-M., Walker, G. K., Kim, J.-H., Liston, G. E., & Sellers, P. J. (1996). Biogeophysical Consequences of a Tropical Deforestation Scenario: A GCM Simulation Study. *Journal of Climate*, 9(12), hlm. 3225-3247. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009%3C3225:BCOATD%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009%3C3225:BCOATD%3E2.0.CO;2)
- Syam, N., Wardiyati, T., Maghfoer, M. D., Handayanto, E., Ibrahim, B., & Muchdar, A. (2016). Effect of Accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal-Contaminated Soil. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, hlm. 13-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.109>
- Wei, Z. B., Guo, X. F., Wu, Q. T., Long, X. X., & Penn, C. J. (2011). Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soil by Co-Cropping with Chelator Application and Assessment of Associated Leaching Risk. *International Journal of Phytoremediation*, 13(7), hlm. 717-729. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2010.525554>
- Wu, Q.-T., Hei, L., Wong, J. W. C., Schwartz, C., & Morel, J.-L. (2007). Co-Cropping for Phyto-Separation of Zinc and Potassium from Sewage Sludge. *Chemosphere*, 68(10), hlm. 1954-1960. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.02.047>
- Yadav, P. K., Kapoor, M., & Sarma, K. (2012). Land Use Land Cover Mapping, Change Detection and Conflict Analysis of Nagzira-Navegaon Corridor, Central India Using Geospatial Technology. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), hlm. 90-98.



Sumber: Desa (2018)

Bagian 8

Pengelolaan Tanah Pasca Tambang Nikel yang Berkelanjutan

8.1. Pendahuluan

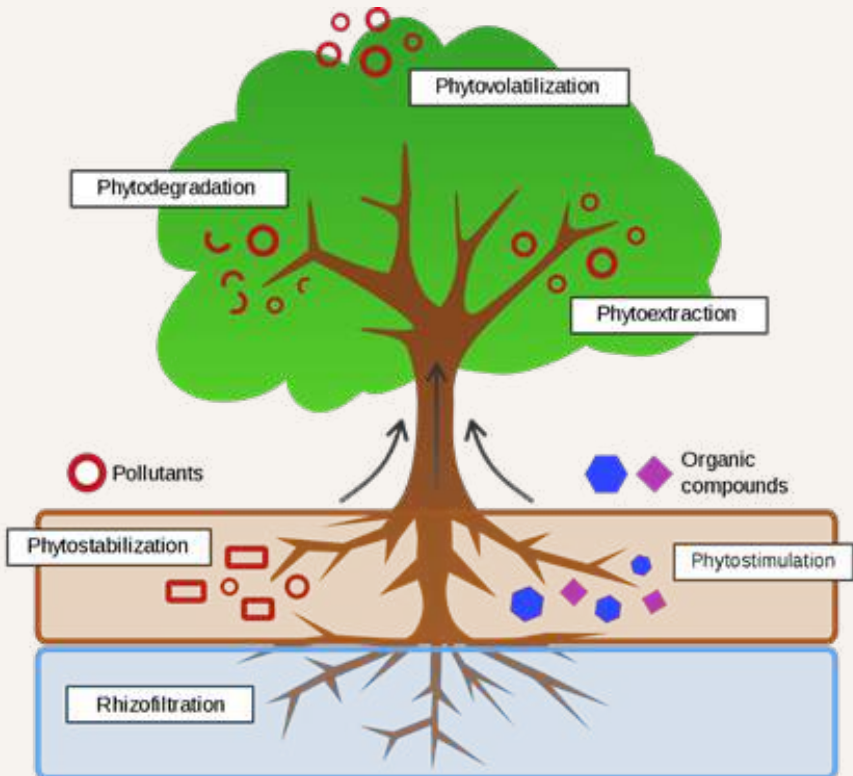
Sebagian besar pertambangan di Indonesia dilakukan dengan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*). Dengan sistem itu menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Topografi berubah karena bahan tambang diambil dari bagian tertentu dari tubuh alam dan menyisakan bahan tanah dan batuan yang tidak dimanfaatkan. Pada banyak kasus terjadi kubangan-kubangan yang sangat besar berbentuk kolam-kolam. Jika hujan turun maka sering terjadi erosi yang membawa bahan tanah yang tertinggal dari proses penggalian tambang. Untuk itu, perlu dilakukan tindakan pengelolaan yang tepat. Berikut beberapa alternatif manajemen lahan bekas tambang nikel yang telah diteliti secara ilmiah dan dipraktikkan di areal lahan reklamasi.

8.2. Fitoremediasi

Salah satu teknologi ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam kegiatan reklamasi adalah teknologi fitoremediasi. Fitoremediasi adalah suatu teknologi untuk membersihkan, menghilangkan atau mengurangi polutan berbahaya, baik senyawa organik maupun logam berat dengan menggunakan tumbuhan,

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa fitoproses yaitu *fitostabilisasi*, *rizofiltrasi*, *rizodegradasi*, *fitoekstraksi*, *fitodegradasi* dan *fitovolatilisasi*. Tiga fitoproses berlangsung dalam zona akar tumbuhan: *Fitostabilisasi* merupakan proses immobilisasi kontaminan dalam tanah, *rizofiltrasi* merupakan proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar dan *rizodegradasi* adalah penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktifitas mikroba. Tiga fitoproses berikutnya berlangsung oleh sumber tumbuhan: *fitoekstraksi* adalah proses penyerapan kontaminan dari medium

tumbuhnya, *fitodegradasi* merupakan penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tumbuhan. *Fitovolatilisasi* merupakan proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010).



Sumber: Desa (2018)

Beberapa penelitian yang menghasilkan temuan yang dapat memberikan informasi mengenai kemampuan tanaman hiperakumulator dalam mereduksi unsur pencemar dalam tanah lahan bekas tambang. Penelitian tersebut antara lain sebagai berikut:

8.2.1. Penelitian Muhlis *et al.* (2015)

Penelitian ini menghasilkan temuan bahwa tanaman pioner seperti *Scleria lithosperma*, *Machaerina glomerata*, *Trema cannabina*, *Alstonia macrophylla* dan *Scleria purpurascens* toleran terhadap

konsentrasi logam berat, seperti Ni, Fe, Co dan Pb. Kemampuan kelima tanaman tersebut dalam proses fitoremediasi hampir sama atau tidak berbeda secara signifikan, terlihat dari konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada bagian pucuk maupun pada tanah di sekitar perakaran tanaman (rizosfer).

Kadar logam berat yang terkandung pada bagian pucuk dan tanah di sekitar akar kelima tanaman tersebut berkisar 53.482 – 75.001 mg/L (pucuk) dan 735.180 – 746.357 mg/L (rizosfer) untuk Ni; 0.533 – 8.068 (pucuk) mg/L dan 0.806 – 2.139 mg/L (rizosfer) untuk Fe; 0.016 – 1.163 mg/L (pucuk) dan 0.100 – 1.008 mg/L (rizosfer) untuk Co; dan 0.134 – 0.212 mg/L (pucuk) dan 0.131 – 0.142 mg/L (rizosfer) untuk Pb. Mekanisme fitoremediasi yang terjadi adalah fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Fitostabilisasi yang terjadi berupa inaktivasi tempat atau immobilisasi logam berat di sekitar perakaran tanaman. Sedangkan fitoekstraksi yang terjadi berupa penyerapan logam berat dari media tumbuh (tanah) kemudian terdistribusi dan terakumulasi ke bagian pucuk tanaman. Fitostabilisasi dan fitoekstraksi tertinggi untuk unsur Ni.

Mekanisme fitoremediasi pada tanaman-tanaman tersebut adalah fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Kemampuan akumulasi Cu, Cd dan Pb tertinggi diperlihatkan oleh *Terminalia superba* (pada bagian akar), masing-masing sebesar 157 mg/kg, 16.70 mg/kg dan 70 mg/kg. Kemampuan akumulasi Mn tertinggi diperlihatkan oleh *Pityrogramma calomelanos* (pada bagian daun) sebesar 236.14 mg/kg dan kemampuan akumulasi Fe tertinggi diperlihatkan oleh *Chromolaena odorata* sebesar (pada bagian akar) sebesar 3113.20 mg/kg. Fitostabilisasi pada daerah rizosfer bervariasi dan yang tertinggi sebesar 28,360.09 mg/kg.



Gambar 28. (a) Morfologi Tanaman *Scleria Lithosperma*,
 (b) *Machaerina Glomerata*, (c) *Trema Cannabina*,
 (d) *Alstonia Macrophylla*, dan (e) *Scleria Purpurascens*

Beberapa jenis tanaman pangan pada penelitian ini yakni *Colocasia esculenta*, *Musa sapientum*, and *Theobroma cacao* memperlihatkan juga kemampuan yang tinggi untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat. Namun tidak direkomendasikan untuk digunakan karena dapat menimbulkan gangguan kesehatan jika dikonsumsi.



Gambar 29. Morfologi Tanaman *Chromolaena Odorata* (Bansah & Addo, 2016)

8.2.2. Penelitian Tuheteru *et al.* (2017)

Penelitian ini menghasilkan temuan mengenai kemampuan beberapa jenis tanaman pioner seperti *Gymnostoma sumatrana*, *Sarcotheca celebica*, *Parinaria corymbosa*, *Timonius celebicus*, *Weinnmania fraxinea*, *Weinnmania fraxinea*, dan *Alstonia macrophyll* menyerap dan mengakumulasi unsur Ni dalam tanah lahan pasca tambang. Jenis tanaman *Sarcotheca celebica* merupakan jenis tanaman yang paling tinggi menyerap kandungan Ni sebesar 595 mg/kg berat kering daun dan sangat potensial dikembangkan untuk teknologi fitoremediasi nikel. Berikut pada Gambar 30 ditunjukkan morfologi beberapa tanaman tersebut di atas.



Gambar 30. (a) Morfologi Tanaman *Weinmannia Fraxinea* dan (b) *Alstonia Macrophyll*

8.2.3. Penelitian Broadhurst & Chaney (2016)

Penelitian ini menghasilkan temuan mengenai kemampuan tanaman hias jenis semak yakni *Alyssum murale* untuk mengakumulasi unsur Ni dengan konsentrasi 30 g/kg Ni dalam daun kering tanaman. Tanaman ini dapat dikategorikan sebagai hiperakumulator Ni di tanah serpentinit. Morfologi tanaman *Alyssum murale* ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31. Morfologi Tanaman *Alyssum Murale* (LeavesandPages, 2014)

8.2.4. Penelitian Korzeniowska & Glubiak (2019)

Penelitian ini menghasilkan temuan mengenai kemampuan tanaman *Phalaris arundinacea*, *Salix viminalis* dan *Zea mays* dalam mengakumulasi logam Ni. Kemampuan akumulasi masing-masing tanaman berkisar 53.3 – 186 mg/kg untuk *Phalaris arundinacea*, 49.9 – 182 mg/kg untuk *Salix viminalis* dan 58,2 – 184 mg/kg untuk *Zea mays*. Sebagian besar Ni terakumulasi pada bagian akar tanaman sehingga produk yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi. Selain itu, dapat pula dijadikan sebagai pakan ternak. Morfologi beberapa tanaman tersebut ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 32. (a) Morfologi Tanaman *Phalaris Arundinacea* (Xaver, 2016) & (b) *Salix Viminalis* (Trees, 2019)

8.3. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan teknologi yang menyerupai fitoremediasi, yang berfungsi untuk membersihkan, menghilangkan atau mengurangi polutan berbahaya, baik senyawa organik maupun logam berat, tetapi yang digunakan dalam teknologi ini adalah mikroorganisme/mikroba. Upaya reklamasi menggunakan

teknologi bioremediasi dapat digunakan pada lahan bekas tambang. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses bioremediasi dapat diperoleh dari lokasi yang mengalami pencemaran atau kerusakan, dalam hal ini dapat diperoleh dari tanah lahan pasca tambang PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale), Sorowako. Isolat bakteri yang diperoleh, terlebih dahulu diuji kemampuannya di laboratorium. Beberapa penelitian berikut memberikan informasi mengenai kemampuan mikroba dalam mereduksi unsur pencemar dalam tanah lahan pasca tambang. Penelitian tersebut antara lain sebagai berikut:

8.3.1. Penelitian Sariwahyuni (2012)

Penelitian ini menghasilkan temuan mengenai kemampuan bakteri *Bacillus megaterium* dan *Pseudomonas aeruginosa* untuk meremediasi tanah lahan bekas tambang nikel. Penggunaan bahan organik yang dikombinasikan dengan kedua mikroba tersebut dapat meningkatkan pH tanah dari 4.0 menjadi 7.5; mampu meningkatkan ketersediaan fosfat sebesar 42.355% dan mengurangi konsentrasi Ni (II) sebesar 25.83%.

8.3.2. Penelitian Suharno & Sancayaningsih (2013)

Penelitian ini menghasilkan temuan yang memberikan informasi mengenai berbagai jenis fungi mikoriza arbuskula (AMF) yang mampu membangun simbiosis dengan tanaman untuk mengikat logam berat dan meningkatkan resistensi tanaman sehingga lebih tahan tumbuh pada lahan bekas tambang yang mengandung kontaminan/polutan. Mikoriza bersimbiosis dengan beberapa tanaman legum seperti tumbuhan *Brassicaceae* dan *Carryophylaceae* yang dapat meningkatkan kinerja tumbuhan tersebut dalam menyerap logam berat.

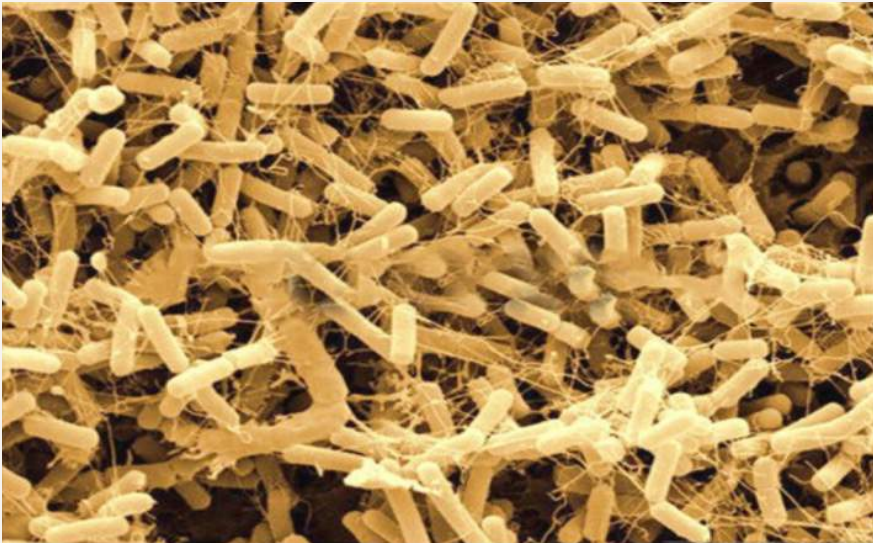
Mikoriza memiliki 3 fungsi sekaligus yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman yakni sebagai biofertilizer, bioprotektor dan bioremediator. Penelitian lain yang terkait dengan fungsi mikoriza dikemukakan oleh beberapa peneliti lain, sebagai berikut:

- a. Fungsi mikoriza sebagai biofertilizer yaitu dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro dan beberapa unsur hara mikro. Selain itu akar tanaman yang bermikoriza dapat menyerap unsur hara dalam bentuk terikat dan tidak tersedia untuk tanaman. Unsur hara yang meningkatkan penyerapannya adalah N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn dan Zn (Rungkat, 2009). Pada lingkungan yang basah mikoriza dapat meningkatkan nutrisi, khususnya ketersediaan fosfat. Sedangkan pada daerah yang kering/gersang, mikoriza membantu pengambilan air, peningkatan transpirasi;
- b. Fungsi mikoriza sebagai bioprotektor adalah melindungi tanaman terhadap patogen tanaman. Menurut Wani *et al.* (1991), mikoriza dapat meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan patogen. Mekanisme penghambatan patogen terjadi karena adanya lapisan hifa pada permukaan akar yang mencegah masuknya patogen dan adanya pelepasan antibiotik yang dapat menghambat perkembangan patogen (Nuhamara, 1994); dan
- c. Fungsi mikoriza sebagai bioremediator bagi tanah-tanah yang tercemar dan membantu pertumbuhan tanaman pada tanah yang tercemar, baik oleh bahan organik maupun logam berat. Fungsi mikoriza dalam mendegradasi bahan organik dikemukakan oleh Read & Perez-Moreno (2003) bahwa berbagai enzim yang dihasilkan oleh fungi mikoriza dapat digunakan untuk mendegradasi bahan organik. Pendapat lain oleh Sutarman (2016) bahwa mikoriza berhubungan dengan dekomposisi bahan organik tanah yang pada akhirnya memberikan peningkatan kualitas lahan. Dalam hal ini senyawa organik dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa lain yang lebih sederhana yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai nutrisi oleh

tanaman (Supradata, 2005; Prabowo & Mangkoedihardjo, 2013). Fungsi mikoriza sebagai biormediator logam berat dikemukakan oleh Giasson *et al.* (2005), bahwa peran FMA *Glomus intraradices* juga terlihat dengan menyerap berbagai logam lain seperti Zn, As, dan Se.

8.3.3. Penelitian Jain *et al.* (2017)

Penelitian ini menghasilkan temuan mengenai kemampuan bakteri *Bacillus licheniformis* (Gambar 33) yang diisolasi dari areal pertambangan yang memiliki konsentrasi logam berat tinggi seperti Pb, Ni dan Cu. Reaksi tanah (pH) optimum untuk penyerapan ketiga logam berat tersebut oleh *Bacillus licheniformis* berada di kisaran nilai 6 – 7. Bakteri ini dapat bertahan hidup pada konsentrasi Cu sebesar 57.73 – 2166 mg/L, konsentrasi Pb sebesar 115.47 – 1685 mg/L dan konsentrasi Ni sebesar 57.73 – 1246 mg/L. Kemampuan isolat bakteri dalam menyerap logam besar tergolong tinggi dengan efisiensi penyerapan sebesar 5 – 80% untuk Cu, 5 – 86% untuk Pb dan 5 – 77% untuk Ni.



Gambar 33. *Bacillus Licheniformis* (Bioventures, 2010)

8.4. Pemanfaatan Cacing Tanah Endogaesis untuk Biorehabilitasi Lahan Bekas Penambangan Terbuka

Saluran pori tanah dapat terhubung antar lapisan tanah dengan memanfaatkan cacing tanah dari kelompok endogaesis yang mampu membuat liang di dalam tanah. Enami *et al.* (1999) menyampaikan bahwa cacing tanah memiliki manfaat besar di dalam tanah, liang-liang yang dihasilkan berperan sebagai saluran udara, air ataupun tempat menembus akar, dan kascing yang dihasilkan merupakan makroagregat yang stabil. Cacing tanah endogaesis mampu membuat liang sampai mencapai kedalaman 1 m (Richard, 1978). Liang cacing tanah *Lumbricus terrestris* berdiameter $\pm 0,80$ cm dapat menghubungkan antara horison A (lapisan atas) dan horison B (lapisan bawah) (Fanning & Fanning, 1989). Inokulasi cacing tanah endogaesis *Pheretima hupiensis* pada tanah Ultisol dengan diikuti pemberian mulsa vertikal bahan organik sampai lapisan argilik dapat menurunkan kepadatan horison argilik dari 1.19 g/cm^3 menjadi 1.08 g/cm^3 (Subowo *et al.*, 2002). Pemberian cacing tanah pada *Oxic Dystropepts* dapat meningkatkan laju infiltrasi dan K-dd, serta menurunkan Al-dd (Brata, 1999). Selain itu, dengan tertimbunnya tanah pucuk yang subur berikut bahan organik saat konstruksi reklamasi, maka cacing tanah akan terdorong untuk masuk ke lapisan yang lebih dalam dengan membuat liang-liang cacing. Saluran pori tanah antar lapisan dapat terhubung oleh liang-liang cacing tanah, sehingga laju dan kapasitas aliran resapan air ke dalam tanah lapisan dalam dapat berlangsung baik. Adanya liang-liang cacing tanah juga dapat mendorong berkembangnya aktivitas organisme aerobik yang banyak terdapat di dalam tanah. Tiunov *et al.* (2001) mendapatkan bahwa pada dinding liang cacing tanah kaya akan keragaman jenis dan jumlah biomasa dari nematoda, protozoa, flegellata, amoeba, dan mikroba, serta kandungan N dan P lebih

tinggi dibandingkan dengan tanah di luar liang. Hal ini menunjukkan bahwa adanya aktivitas cacing tanah endogaesis dapat meningkatkan dan melindungi keanekaragaman hayati tanah. Berkembangnya organisme tanah akan mempercepat pemulihan struktur dan kesuburan tanah yang rusak akibat penambangan. Cacing tanah juga mampu mengangkat kembali bahan tanah subur yang ada di lapisan bawah dalam bentuk kascing, sehingga lebih tahan terhadap tekanan erosi. Cacing tanah merupakan fauna tanah yang mampu hidup relatif lama, ada spesies yang mampu hidup 1 - 10 tahun (Coleman & D. Crossley, 1996). Peranan biorehabilitasi ini dapat berjalan terus menerus dalam kurun waktu yang lama. Demikian juga dengan kemampuannya berkembang biak (reproduksi) secara alami, maka sumbangan cacing tanah meningkatkan kesuburan tanah dan melindungi tanah dari tekanan erosi berlangsung secara terus menerus sesuai ketersediaan daya dukung untuk kehidupan cacing tanah tersebut. Untuk memaksimalkan nilai manfaat cacing tanah dapat dilakukan dengan pemberian pakan bahan organik secara vertikal sampai tanah lapisan dalam. Jelajah cacing tanah akan masuk ke lapisan lebih dalam, sehingga dapat memperkuat resapan air, menekan erosi tanah, dan mendukung organisme tanah lainnya masuk ke dalam tanah.

8.5. Pemanfaatan Tanaman Legum sebagai Tanaman Pionir Revegetasi Lahan Bekas Penambangan Terbuka

Untuk mempercepat upaya pemulihan kualitas lahan bekas penambangan terbuka, penanaman tanaman penutup tanah hendaknya dapat secepatnya dilakukan. Apabila jumlah tanah lapisan atas tidak memadai, sistem pertanaman secara pot dapat dilakukan dengan meningkatkan dosis dan intensitas pemupukannya. Pada tahap awal dapat dikembangkan untuk pertanaman tanaman legum penutup tanah cepat tumbuh (*fast growing species*)

seperti: *Calopogonium sp.*, *Pueraria sp.* (koro benguk), *Centrosema sp.*, kerandang, dan lain-lain. Selanjutnya secara bertahap dikembangkan tanaman legum berakar dalam seperti sengon, lamtoro, dan lain-lain. Untuk memperkuat bangunan teras bangku yang sudah dibentuk pada bibir-bibir teras secepatnya ditanami tanaman berakar dalam agar dapat memperkuat konstruksi tebing teras yang rawan longsor. Pengembangan tanaman legum sebagai tanaman pionir diperlukan karena daya dukung tanah masih relatif lemah. Tanaman legum mampu memanfaatkan N_2 -udara hasil bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium*, dan bahan organik yang dihasilkan kaya hara N yang merupakan hara makro esensial bagi tanaman dan merupakan faktor pembatas utama pada tanah bukaan baru di kawasan tropika. Dengan kondisi ini, maka akan mampu mempercepat pemulihan kesuburan tanah. Pemilihan vegetasi untuk mencapai kondisi klimaks ekosistem baru dengan tingkat erosi rendah, produktivitas optimum dan lingkungan lestari perlu kiranya dilakukan selektif dengan jenis tanaman yang tepat, sehingga komponen-komponen pelaku ekosistem sebagai produsen (flora), konsumen (fauna), maupun pengurai (mikroorganisme) dapat segera terbentuk.

8.6. Penggunaan Mineral Zeolite

Aspek kesuburan media tanam dapat dikelompokkan menjadi kesuburan fisik, kimia, dan biologi. Ketiga aspek kesuburan tersebut secara bersama-sama berperan dalam mempengaruhi kualitas media tanam. Seperti diketahui bahwa lokasi-lokasi tambang di Indonesia umumnya berada pada tanah-tanah yang tidak subur. Oleh karena itu, perbaikan kualitas media tanam khususnya pada tanah lapisan atas perlu dilakukan untuk meningkatkan keberhasilan revegetasi.

Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah khususnya kapasitas tukar kation, daya jerap

terhadap ion amonium, dan daya pegang air adalah zeolit (Gambar 34). Penggunaan zeolit dapat dicampurkan dengan tanah di permukaan tanah atau di lubang tanam, dicampurkan dengan pupuk, sebagai media tumbuh pembibitan, dan dicampurkan dengan kompos. Fungsi utama zeolit sebagai bahan pembenah tanah adalah meningkatkan nilai KTK tanah sehingga pemberian zeolit pada tanah-tanah yang mempunyai KTK rendah diharapkan dapat meningkatkan KTK-nya. Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang telah banyak dilakukan di Jepang, Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa. Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang berdasarkan tingginya nilai KTK dan daya serap air.



Gambar 34. Zeolit (Putra, 2012)

Menurut Suwardi (1997), pengaruh pemberian zeolit terhadap sifat-sifat tanah antara lain untuk: (a) meningkatkan KTK Tanah. Peningkatan KTK tanah ditentukan oleh KTK zeolit, dosis zeolit, dan jenis muatan dari tanah. Semakin tinggi KTK zeolit dan semakin besar dosis zeolit semakin besar pula kenaikan KTK tanah. Berkaitan dengan muatan tanah, zeolit yang diberikan pada tanah yang mempunyai mineral liat alofan ternyata tidak dapat meningkatkan KTK tanah; (b). meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen. Kandungan kalium yang tinggi dalam zeolit klinoptilolit (K_2O sekitar 3%) menyebabkan pemberian zeolit meningkatkan

kalium dalam tanah. Ini berarti zeolit mampu meningkatkan fosfor pada tanah ber-pH rendah yang fosfornya terikat dalam bentuk Fe-P dan Al-P. Sifat fisik berongga dari zeolit menyebabkan penambahan zeolit pada tanah bertekstur liat dapat memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan pori-pori udara tanah. Pada regosol, zeolit dapat meningkatkan daya pegang tanah terhadap air. Zeolit dapat bertahan lama di dalam tanah karena struktur zeolit relatif stabil.

Menurut [Suwardi \(1997\)](#), zeolit dikenal sebagai bahan karier pupuk P dan Cu. Besarnya jerapan maksimum zeolit terhadap unsur P, K dan Cu menunjukkan bahwa kandungan unsur P, K dan Cu zeolit meningkat setelah diperkaya dengan larutan yang mengandung unsur-unsur tersebut. Zeolit tidak banyak mengandung unsur hara kecuali kalium dan sedikit unsur mikro. Oleh karena itu, agar memberikan pengaruh lebih besar, zeolit perlu diberikan dalam bentuk campuran dengan bahan lain.

Pemberian bahan organik merupakan kunci pokok perbaikan lapisan atas. Perbaikan kesuburan kimia terhadap tanah pucuk dapat dilakukan dengan kombinasi penggunaan kompos dan pupuk dasar yang biasa digunakan.

8.7. Pemupukan Berimbang Tanaman Non-Kayu di Tanah Bekas Tambang Nikel (Kasus Areal Reklamasi PT Vale, Sorowako)

8.7.1. Rambutan (*Nephelium Lappaceum*)

Rambutan tumbuh baik pada tanah yang subur, gembur, dan tanah yang bertekstur liat sampai lempung, tumbuh baik pada kisaran pH tanah 5.5 – 6.5. Rambutan mampu tumbuh pada segala tipe-tanah, asal cukup mengandung bahan organik. Tanaman ini tidak tahan pada air yang dangkal dan menggenang. Ketinggian tempat yang optimum bagi pertumbuhan tanaman rambutan antara 30 – 500 meter di atas permukaan air laut.

Curah hujan 1,750 – 3,000 mm dan merata sepanjang tahun. Pada waktu berbunga membutuhkan waktu 3 bulan kering.



Gambar 35. Morfologi Tanaman Rambutan

Tabel 11. Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Rambutan

Umur Tanaman	Pupuk Kandang (kg)	Urea (g)	SP-36 (g)			KCl (g)
			P rendah	P sedang	P tinggi	
Saat penanaman	25	100	-	100	-	50
1 tahun		100	70	60	50	20
2 tahun		150	80	70	60	100
4 tahun		300	170	150	130	150
5 – 10 tahun		600	700	600	500	300

Kebutuhan pupuk kandang dan pupuk buatan pada tanaman berproduksi 2 – 5% dari bobot buah yang dihasilkan.

Keterangan: Ketersediaan fosfat dalam tanah, P rendah = 5 – 7 ppm P, P sedang = 8 – 10 ppm P dan P tinggi = 11 – 15 ppm P.

Pemupukan dengan pupuk organik pada tahap awal dilakukan dengan membenamkan seluruh takaran pupuk kandang (25 kg/pohon) ke dalam lubang tanaman setelah sebelumnya dicampur dengan tanah dan kapur (tanpa Mg) sebanyak 0.25 kg dan 100 g pupuk urea, 100 g SP-36 dan 50 g KCl (Tabel 11). Pemupukan tanaman dengan pupuk anorganik selanjutnya adalah pada larikan yang dibuat di sekeliling tanaman rambutan. Pemberian pupuk dilakukan 4 kali dalam setahun masing-masing seperempat bagian dari dosis pupuk untuk tanaman yang belum menghasilkan. Pada tanaman yang sudah berbuah umur lebih 4 tahun diberikan pupuk berupa campuran 300 g urea, 150 g SP-36 dan 150 g KCl yang pemberiannya diatur sebagai berikut: $\frac{1}{4}$ bagian pupuk diberikan 4 minggu setelah pembentukan buah, $\frac{1}{2}$ bagian pupuk diberikan saat panen dan $\frac{1}{4}$ bagian pupuk diberikan 9 minggu setelah panen, jika ketersediaan P tanah tergolong sedang. Jika ketersediaan P dalam tanah rendah maka takaran tersebut ditambah, sebaliknya jika ketersediaan P dalam tanah tinggi maka takaran pupuk P yang diberikan dikurangi.

8.7.2. Mangga (*Mangifera Indica*)

Tanaman mangga cocok untuk tumbuh di daerah dengan musim kering selama 3 bulan. Masa kering diperlukan sebelum dan sewaktu berbunga. Jika ditanam di daerah basah, tanaman mengalami banyak serangan hama dan penyakit serta gugur bunga/buah jika bunga muncul pada saat hujan. Tanah yang baik untuk budidaya mangga adalah gembur mengandung pasir dan lempung dalam jumlah yang seimbang, derajat keasaman tanah (pH tanah) 5.5 – 7.5. Jika pH di bawah 5,5 sebaiknya dikapur. Mangga yang ditanam di dataran rendah dan menengah dengan ketinggian 0 – 500 m dpl menghasilkan buah yang lebih bermutu dan jumlahnya lebih banyak dari pada di dataran tinggi. Apabila terlalu banyak hujan, hasil berkurang sebab pada saat berbunga jika terkena hujan bunga mangga akan gugur.



Gambar 36. Morfologi Tanaman Mangga

Tanaman mangga cocok untuk tumbuh di daerah dengan musim kering selama 3 bulan. Masa kering diperlukan sebelum dan sewaktu berbunga. Jika ditanam di daerah basah, tanaman mengalami banyak serangan hama dan penyakit serta gugur bunga/buah jika bunga muncul pada saat hujan. Tanah yang baik untuk budidaya mangga adalah gembur mengandung pasir dan lempung dalam jumlah yang seimbang, derajat keasaman tanah (pH tanah) 5.5 – 7.5. Jika pH di bawah 5,5 sebaiknya dikapur. Mangga yang ditanam di dataran rendah dan menengah dengan ketinggian 0 – 500 m dpl menghasilkan buah yang lebih bermutu dan jumlahnya lebih banyak dari pada di dataran tinggi. Apabila terlalu banyak hujan, hasil berkurang sebab pada saat berbunga jika terkena hujan bunga mangga akan gugur.

Pemberian pupuk pada tahap awal pemberiannya baik pupuk organik maupun anorganik dilakukan dengan membenamkan seluruh takaran pupuk kandang (25 kg/pohon) ke dalam lubang tanaman setelah sebelumnya dicampur dengan

tanah dan kapur (bisa kalsit) sebanyak 0.25 kg dan 30 g pupuk urea, 40 g SP-36 dan 30 g KCl. Pemberian pupuk selanjutnya baik organik maupun anorganik diaplikasikan pada larikan yang dibuat di sekeliling dan di bawah tajuk tanaman. Takaran pupuk yang digunakan dapat berpedoman pada Tabel 12 yang tertera di bawah ini.

Tabel 12. Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Mangga

Umur Tanaman	Pupuk Kandang (kg)	Urea (g)	SP-36 (g)			KCl (g)
			P rendah	P sedang	P tinggi	
Saat sebelum tanam	25	30	-	40	-	30
1 - 2 bulan		10	15	10	5	20
1,5 - 2 th	10	100	125	100	75	200
Menjelang berbunga		500	700	650	600	600
Saat berbunga		450	650	600	550	500
Setelah panen	15	450	650	600	550	500

Keterangan: P rendah = 5 - 7 ppm P, P sedang = 8 - 10 ppm P dan P tinggi = 11 - 15 ppm P.

8.7.3. Pala (*Myristica Fragrans*)

Tanaman pala, dapat tumbuh baik pada ketinggian 0 - 700 meter di atas permukaan laut, di atas ketinggian 700 dpl tanaman pala kurang produktif. Tanaman pala, membutuhkan curah hujan sekitar 2,000 - 4,000 mm/tahun tanpa bulan kering. Untuk dapat tumbuh baik, memerlukan lapisan atas cukup dalam, cukup tersedia unsur hara, drainasenya baik, udara dalam tanah cukup tersedia. Pada prinsipnya tanaman pala dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah. Namun, untuk

memperoleh pertumbuhan dan produksi yang optimum, tanaman pala menghendaki tanah yang ringan (gembur), bertekstur pasir sampai lempung, terutama tanah vulkanis atau tanah di sekitar gunung berapi dengan keadaan aerasi dan drainase yang baik, subur, dan mempunyai pH 5.5 – 7.0. Tanaman pala cocok ditanam pada tanah andosol, latosol, dan alluvial yang kaya bahan organik



Gambar 37. Morfologi Tanaman Pala

Tanaman pala akan berkembang dengan baik di daerah tropis, dengan suhu optimum untuk pertumbuhan dan produksi $\pm 20^{\circ}\text{C}$ sampai 30°C , kelembaban antara 50% – 80%. Tanaman pala memerlukan iklim tropis yang panas dengan curah hujan yang tinggi, tanpa adanya masa kering yang nyata. Pada daerah-daerah yang mempunyai kemiringan tajam dan curah hujan tinggi, perlu dibuat teras-teras untuk mempertahankan tingkat kesuburan tanahnya. Curah hujan yang baik bagi pertumbuhan tanaman pala $\pm 2,175$ mm sampai 3,550 mm/tahun. Tanaman pala peka terhadap angin kencang, karenanya tidak sesuai diusahakan pada areal yang terbuka tanpa tanaman pelindung.

Angin yang bertiup terlalu kencang, bukan saja menyebabkan penyerbukan tanaman terganggu, buah dan pucuk-pucuk tanaman akan jatuh berguguran. Untuk daerah-daerah yang tiupan anginnya sering keras, penanaman pohon penahan angin ditepi kebun sangat dianjurkan. Namun tanaman pelindung yang ditanam terlalu rapat, dapat menghambat pertumbuhan tanaman pala, karena adanya persaingan dalam mendapatkan unsur hara.

Tanaman pala peka terhadap genangan air karena genangan air dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat dan mudah terserang penyakit busuk akar. Oleh karena itu, tanaman pala cocok diusahakan pada areal yang topografinya tidak datar (bergelombang) dan drainasinya baik. Disamping itu, pada areal pertanaman pala sebaiknya dibuat saluran pembuangan air yang baik. Walaupun demikian, untuk bulan-bulan kering, tanaman pala memerlukan air yang cukup, untuk itu tanah harus mempunyai ketersediaan air (*water holding capacity*) yang cukup. Adanya tanaman penutup tanah dan tanaman pelindung, dapat membantu mengatasi ketersediaan air. Terjadinya genangan air pada pertanaman pala, akan berakibat pertumbuhannya terhambat, bahkan tanaman akan mudah terserang penyakit busuk akar yang dapat mematikan tanaman. Pada tanah miskin hara, tanaman pala masih dapat tumbuh apabila disertai pemupukan dan perawatan yang baik. Untuk mendukung pertumbuhan tanaman pala dengan baik, perlu dipilih tanah yang terhindar dari erosi, tanah mudah dikerjakan atau tidak terlalu keras, pengaturan tata air, dan udara dalam tanah yang baik, serta unsur hara cukup tersedia.

Tanaman pala yang sudah berumur 4 - 5 tahun memerlukan sinar matahari yang banyak untuk dapat

berproduksi. Penjarangan pohon pelindung harus diperhatikan untuk mencegah tanaman pala tumbuh tidak normal (memanjang ke atas), dan untuk mencegah persaingan dalam pengambilan unsur hara antara pala dengan pohon pelindung. Agar tanaman pala tumbuh dengan baik dan berproduksi tinggi, pemupukan perlu dilakukan. Pupuk yang diberikan dapat berupa pupuk organik (pupuk kandang, kompos) dan pupuk buatan (urea, SP-36, dan KCl). Pupuk organik sangat baik untuk menjaga agar tanah remah serta subur. Unsur hara esensial yang paling dibutuhkan adalah Nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), serta unsur-unsur hara mikro seperti Zn, Cu, Mn, dan lain-lainnya.

Pemupukan dengan pupuk organik pada tahap awal dilakukan dengan membenamkan seluruh takaran pupuk kandang (20 kg) ke dalam lubang tanaman setelah sebelumnya dicampur dengan tanah dan kapur (tanpa Mg) sebanyak 0.25 kg dan pupuk urea 200 g/pohon, SP-36 200 g/pohon dan KCl 250 g/pohon. Kegiatan pemupukan tanaman pala dilakukan setelah kegiatan penyiangan, hal ini dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan pemberian pupuk. Jenis pupuk untuk tanaman pala bisa digunakan jenis pupuk organik (pupuk kandang kambing, sapi, ayam dan kompos) serta pupuk anorganik atau kimia (urea, SP-36 dan KCl). Dosis pemberian pupuk untuk pala disesuaikan dengan umur tanam tanaman pala tersebut antara lain: untuk dosis pupuk organik yang diberikan 2.5 – 5 kg/tanaman dengan cara di timbun, selanjutnya untuk pupuk anorganik dilakukan seperti tertera pada Tabel 13. Pemupukan dapat dilakukan dengan cara dibenamkan dalam lubang – lubang atau dengan membuat larikan di sekeliling tanaman selebar kanopi tanaman.

Tabel 13. Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Pala

Umur Tanaman	Pupuk Kandang (kg)	Urea (g)	SP-36 (g)			KCl (g)
			P rendah	P sedang	P tinggi	
Pada saat tanam	15 - 20		225	200	175	250
Umur 1 tahun (g/pohon/th)	2,5 - 5	10	15	10	5	5
Umur 2 tahun (g/pohon/th)		20	15	10	5	5
Umur 3 th (g/pohon/th)		50	30	25	20	15
Umur 4 th (g/pohon/th)		60	45	40	35	20
Umur 5 th (g/pohon/th)		80	60	50	45	30
Tanaman menghasilkan (g/pohon/th)		800	900	800	700	1.000

Keterangan: P rendah = 5 - 7 ppm P, P sedang = 8 - 10 ppm P dan P tinggi = 11 - 15 ppm P.

Pupuk diberikan 2 kali dalam setahun, yaitu pada awal musim hujan dan pada akhir musim hujan dengan menyesuaikan kandungan unsur dari pupuk yang digunakan. Pupuk kandang yang diberikan adalah yang telah matang. Sebelum dipupuk, sekeliling tanaman dibersihkan dahulu kemudian dibuat larikan melingkari tanaman selebar kanopi tanaman sedalam 2 - 10 cm. pupuk ditaburkan di dalamnya dan kemudian ditutup kembali dengan tanah.

8.7.4. Durian (*Durio Zibethinus*)

Durian (*Durio zibethinus*) umumnya membutuhkan ketersediaan air yang cukup, sehingga umumnya tumbuh pada daerah dengan curah hujan 1,500 - 2,500 mm/tahun yang memiliki bulan basah 7 - 10 serta bulan kering 2 - 4. Suhu udara yang

ideal adalah 22 – 29 °C, pada ketinggian optimal 400 – 600 m dpl. Meskipun demikian durian juga dapat ditanam di dataran rendah dengan syarat hujan merata sepanjang tahun. Pada dataran tinggi waktu berbunga lebih lama dibanding dataran rendah. Durian tumbuh baik pada tanah yang bertekstur lempung, lempung berdebu dan liat, tanah dengan kedalaman > 75 cm, drainase baik sampai agak terhambat, dan mempunyai pH 5.0 – 7.8.



Gambar 38. Morfologi Tanaman Durian

Pemberian pupuk pada awal penanaman, yaitu lubang tanam dibiarkan terbuka 2 minggu, di timbun dengan tanah galian bagian atas lebih dahulu dimasukkan setelah dicampur pupuk kompos atau pupuk kandang 15 kg/lubang dan 0,25 kg kapur, diikuti oleh tanah bagian bawah yang telah dicampur 20 kg pupuk kandang dan 300 g SP-36. Pemupukan tanaman durian sebaiknya dilakukan dalam dua tahap yakni pada saat tanaman belum berbuah dan pada saat tanaman yang sudah menghasilkan/berbuah. Pemupukan pada tanaman yang belum

berbuah, dilakukan dengan dosis seperti tertera pada Tabel 14. Pemupukan pada tanaman yang sudah menghasilkan/berbuah, dengan dosis/pohon sebagai berikut: (i) sesudah pemangkasan, (ii) saat pucuk mulai menua, (iii) saat muncul bunga, (iv) satu bulan sebelum panen. Dosis pemupukan yang digunakan seperti tertera Tabel 14. Pupuk organik/kompos/pupuk kandang diberikan setahun sekali pada akhir musim hujan dengan dosis minimal 15 – 20 kg/pohon.

Tabel 14. Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Durian

Umur Tanaman	Pupuk Kandang (kg)	Urea (g)	SP-36 (g)			KCl (g)
			P rendah	P sedang	P tinggi	
Pada saat tanam	15 – 20			300		
Sebelum berbuah						
Umur 1 tahun (g/pohon/th)		15 – 25	35	30	20	10 – 20
Umur 2 tahun (g/pohon/th)		50 – 90	120	100	80	40 – 80
Umur 3 – 4 th (g/pohon/th)		130 – 190	200	180	160	100 – 160
Setelah berbuah						
Sesudah pemangkasan	20 – 30	600	900	800	700	500
Saat pucuk mulai tua		300	450	400	350	250
Saat muncul bunga		75	225	200	175	100
Satu bulan sebelum panen		180	700	650	600	150

Keterangan: P rendah = 5 – 7 ppm P, P sedang = 8 – 10 ppm P dan P tinggi = 11 – 15 ppm P.

8.7.5. Manggis (*Garcinia Mangostana*)

Manggis (*Garcinia mangostana*) merupakan tanaman buah berupa pohon yang berasal dari hutan tropis yang teduh di kawasan Asia Tenggara, yaitu hutan belantara Malaysia atau Indonesia. Manggis yang kerap dijuluki 'Ratu Buah' ini sangat diminati oleh pasar luar negeri. Manggis dapat tumbuh dengan baik di dataran rendah sampai dengan ketinggian 800 m dpl. Tumbuh optimal pada tanah yang subur, gembur dan banyak mengandung bahan organik, pH tanah 5.0 – 7.0, kedalaman tanah 50 – 100 cm. Curah hujan merata sepanjang tahun 1,500 – 2,500 mm/tahun, suhu yang ideal 22 – 32°C dengan kelembaban 80%. Tanaman manggis memerlukan lahan dengan drainase baik dan tidak tergenang serta air tanah berada pada kedalaman lebih dari 75 cm.



Gambar 39. Morfologi Tanaman Manggis

Pemberian pupuk pada awal penanaman, yaitu ke dalam lubang tanam yang berukuran 50 x 50 cm sedalam 50 cm dan telah dikeringanginkan selama 15 hari sebelum tanam. Selanjutnya memasukkan tanah yang telah dicampur 20 – 30 kg pupuk kandang serta campuran 60 g urea, 225 g SP-36 dan 200 g KCl ke dalam lubang tanam dan ditutup dengan tanah. Pemupukan tanaman dilakukan dengan cara ditaburkan di dalam larikan atau di dalam lubang-lubang di sekeliling batang dengan diameter sejauh ukuran tajuk pohon. Dalam larikan atau lubang sekitar 10 – 20 cm. Waktu pemupukan adalah pagi atau sore hari, pemupukan manggis dua kali dalam setahun yaitu sebelum dan sesudah musim hujan, takaran pupuk yang digunakan tertera pada Tabel 15.

Tabel 15. Dosis Pemupukan Pupuk untuk Setiap Pohon Tanaman Manggis

Umur Tanaman	Pupuk Kandang (kg)	Urea (g)	SP-36 (g)			KCl (g)
			P rendah	P sedang	P tinggi	
Saat pengisian lubang tanam	15 – 20	60	250	225	200	200
Umur 1 – 2 tahun (g/pohon/th)	20	50	30	25	20	20 – 25
Umur 2 – 4 tahun (g/pohon/th)	20	100	75	50	25	50
Umur 4 – 6 th (g/pohon/th)	20	200	150	100	75	100
Umur 6 – 8 th (g/pohon/th)	40	400	900	800	700	800
Umur 9 – 10 th (g/pohon/th)	80	800	1.450	1.500	1.350	250
Umur > 10 th (g/pohon/th)	80	1.000	2.250	2.500	1.750	1.500

Keterangan: P rendah = 5 – 7 ppm P, P sedang = 8 – 10 ppm P dan P tinggi = 11 – 15 ppm P.



Daftar Pustaka

- Bansah, K. J. & Addo, W. K. (2016). Phytoremediation Potential of Plants Grown on Reclaimed Spoil Lands. *Ghana Mining Journal*, 16(1), hlm. 68-75. doi: <https://doi.org/10.4314/gmj.v16i1.8>
- Bioventures, R. (2010, Juli). *Bacillus Licheniformis*. Dalam *IndiaMART InterMESH Ltd*. Diakses dari <https://www.indiamart.com/proddetail/bacillus-licheniformis-20435389773.html>, pada tanggal 8 April 2020.
- Brata, K. R. (1999). The Introduction of Earthworm as Biological Tillage Agent for the Improvement of Soil Physical and Chemical Properties in Upland Agriculture. Dalam *International Seminar Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropics Facing 21st Century*. Ministry of Education, Science, Sport, and Culture of Japan, International Culture for Research in Agroforestry (ICRAF), The Government of Province Lampung, University of Lampung (Unila), hlm. 80-85.
- Broadhurst, C. L. & Chaney, R. L. (2016). Growth and Metal Accumulation of an *Alyssum Murale* Nickel Hyperaccumulator Ecotype Co-Cropped with *Alyssum Montanum* and Perennial Ryegrass in Serpentine Soil. *Frontiers in Plant Science*, 7, hlm. 1-9. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00451>

- Coleman, D. & D. Crossley, J. (1996). *Fundamentals of Soil Ecology*. London: Academic Press.
- Desa, L. I. (2018, 14 September). Fitoremediasi, Cara Mengatasi Limbah dengan Tanaman. Dalam *8villages.com*. Diakses dari <https://8villages.com/full/petani/article/id/5b9b6a59d7e3f7637ab3ff91>, pada tanggal 7 April 2020.
- Enami, Y., Shirashi, H., & Nakamura, Y. (1999). Use of Soil Animals as Bioindicators of Various Kinds of Soil Management in Northern Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 33(2), hlm. 85-89.
- Fanning, D. S. & Fanning, M. C. B. (1989). *Soil: Morphology, Genesis, and Classification*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Giasson, P., Jaouich, A., Gagné, S., & Moutoglis, P. (2005). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Involvement in Zinc and Cadmium Speciation Change and Phytoaccumulation. *Remediation Journal*, 15(2), hlm. 75-81. doi: <https://doi.org/10.1002/rem.20044>
- Jain, A. N., Udayashankara, T. H., Lokesh, K. S., & Sudarshan, B. L. (2017). Bioremediation of Lead, Nickel and Copper by Metal Resistant *Bacillus Licheniformis* Isolated from Mining Site: Optimization of Operating Parameters Under Laboratory Conditions. *IMPACT: International Journal of Research in Engineering & Technology*, 5(5), hlm. 13-32.
- Korzeniowska, J. & Glubiak, E. S. (2019). Phytoremediation Potential of *Phalaris Arundinacea*, *Salix Viminalis* and *Zea Mays* for Nickel-Contaminated Soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(4), hlm. 1999-2008. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1823-7>
- LeavesandPages. (2014, 2 Juli). Alyssum Murale – Yellowtuft Alyssum. Dalam *Hill Farm Nursery*. Diakses dari <https://hillfarmnursery.com/2014/07/02/alyssum-murale-yellowtuft-alyssum/>, pada tanggal 8 April 2020.
- Mangkoedihardjo, S. & Samudro, G. (2010). *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Muhlis, M., Ginting, S., Hemon, T., Suaib, S., & Hewindati, Y. T. (2015). Exploration of Plant Adaptives at Ferro-Nickel Post Mining Land in Pomalaa Southeast Sulawesi Indonesia. *Advanced Studies in Biology*, 7(3), hlm. 97-109. doi: <http://dx.doi.org/10.12988/asb.2015.41056>
- Nuhamara, N. (1994, 4-22 April). Peranan Mikoriza untuk Reklamasi Lahan Kritis. Makalah dipresentasikan pada *Program Pelatihan Biologi dan Bioteknologi Mikoriza*, diselenggarakan oleh SEAMEO Biotrop, di Bogor.
- Prabowo, A. L. & Mangkoedihardjo, S. (2013). Penurunan BOD dan COD pada Air Limbah Katering Menggunakan Konstruksi *Wetland Subsurface Flow* dengan Tumbuhan Kana (*Canna Indica*). *Paper Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November*, hlm. 1-5.
- Putra, S. E. (2012, 31 Desember). Zeolt Sebagai Mineral Serba Guna. Dalam *evanputra.wordpress.com*. Diakses dari <https://evanputra.wordpress.com/2012/12/31/zeolt-sebagai-mineral-serba-guna/>, pada tanggal 7 April 2020.
- Read, D. J. & Perez-Moreno, J. (2003). Mycorrhizas and Nutrient Cycling in Ecosystems-A Journey Towards Relevance? *New Phytologist*, 157(3), hlm. 475-492. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00704.x>
- Richard, B. N. (1978). *Introduction to the Soil Ecosystem*. London: Longmans, Green and Co.
- Rungkat, J. A. (2009). Peranan MVA dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman. *Formas, Forum Kerukunan Mahasiswa Sulawesi Utara di Malang*, 4(1), hlm. 270-276.
- Sariwahyuni, S. (2012). Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang PT. Inco Sorowako dengan Bahan Organik, Bakteri Pelarut Fosfat dan Bakteri Pereduksi Nikel. *Jurnal Riset Industri, Kementerian Perindustrian*, 6(2), hlm. 149-155.
- Subowo, S., Anas, I., Djajakirana, G., Abdurachman, A., & Hardjowigeno, S. (2002). Pemanfaatan Cacing Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Ultisols Lahan Kering. *Jurnal Tanah dan Iklim, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian*, 20, hlm. 35-46.

- Suharno, S. & Sancayaningsih, R. P. (2013). Fungsi Mikoriza Arbuskula: Potensi Teknologi Mikorizoremediasi Logam Berat dalam Rehabilitasi Lahan Tambang. *Bioteknologi, Universitas Sebelas Maret*, 10(1), hlm. 37-48.
- Supradata, S. (2005). "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus Alternifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)". *Tesis*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sutarman, S. (2016). *Biofertilizer Fungi: Trichoderma dan Mikoriza*. Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Press.
- Suwardi, S. (1997). "Studies on Agricultural Utilization of Natural Zeolites in Indonesia". *Disertasi*. Tokyo University of Agriculture, Tokyo.
- Tiunov, A. V., Bonkowski, M., Tiunov, J. A., & Scheu, S. (2001). Microflora, Protozoa and Nematoda in Lumbricus Terrestris Burrow Walls: A Laboratory Experiment. *Pedobiologia*, 45(1), hlm. 46-60. doi: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00067>
- Trees, T. (2019, 7 Oktober). Salix Viminalis – Common Osier. Dalam *Thorpetrees.com*. Diakses dari <https://thorpetrees.com/product/salix-viminalis-common-osier/>, pada tanggal 4 April 2020.
- Tuheteru, F. D., Arif, A., & Rajab, M. F. (2017). Potential of Nickel (Ni) Phytoremediation of Adaptive Species on Revegetation Land, PT. Vale Indonesia (Tbk). Pomalaa Site Kolaka Regency. *Jurnal Wasian: Wahana Informasi Penelitian Kehutanan*, 4(2), hlm. 89-96. doi: <https://doi.org/10.20886/jwas.v4i2.2855>
- Wani, S. P., McGill, W. B., & Tewari, J. P. (1991). Mycorrhizal and Common Root-Rot Infection, and Nutrient Accumulation in Barley Grown on Breton Loam using N from Biological Fixation or Fertilizer. *Biology and Fertility of Soils*, 12(1), hlm. 46-54. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00369387>
- Xaver, F. (2016, 16 Februari). Reed Canarygrass (Phalaris Arundinacea). Dalam *WeedWise, A Conservation Program of the Clackamas SWCD*. Diakses dari <https://weedwise.conservationsdistrict.org/phar3>, pada tanggal 4 April 2020.



Tentang Penulis



Dr. RISMANESWATI, S.P., M.P., adalah nama lengkap penulis ini. Penulis lahir dari ayah bernama H. Sukiman Tejjo (Alm.) dan ibu Hj. Rosmiati Mappanganro sebagai anak pertama dari 2 bersaudara. Pada Tahun 1999, penulis menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) di Institut Pertanian Bogor di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian. Tahun 2005 penulis menyelesaikan Pendidikan Magister (S2) di Program Studi Sistem-Sistem Pertanian Konsentrasi Ilmu Tanah Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin. Selanjutnya, di Tahun 2013 penulis menyelesaikan Pendidikan Doktor di Program Studi Ilmu Pertanian Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin. Penulis memulai karier sebagai dosen sejak 2002, dan sejak diterima sebagai staf pengajar di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin hingga saat ini, penulis berkecimpung di bidang keahlian Evaluasi Lahan, Genesis Tanah dan Perencanaan Tata Guna Lahan. Penulis sudah menduduki jabatan fungsional Lektor Kepala (*Associate Professor*) dan Tahun 2014, penulis diangkat menjadi Sekretaris Departemen (2014 – 2018) Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UNHAS dan lanjut menjadi Ketua Departemen Ilmu Tanah UNHAS (2018 – 2022). Sejak berkarier sebagai dosen, penulis telah menulis buku berjudul *Evaluasi Lahan (Metode)*, *Proses dalam Tanah* dan beberapa artikel yang diterbitkan di berbagai jurnal nasional dan internasional yang bereputasi. Selain itu, penulis aktif mengikuti seminar nasional dan internasional baik yang diadakan di dalam negeri maupun di luar negeri. Penulis juga aktif di berbagai organisasi profesi seperti HITI (Himpunan Ilmu Tanah Indonesia) dan MAPIN (Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia) Komisariat Sulawesi Selatan.



ANDI SUBHAN MUSTARI, menyelesaikan pendidikan Sarjana tahun 2000 pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Pada tahun 2010 meraih gelar *Master of Engineering* di Toyohashi University of Technology Jepang, Department of Architecture and Civil Engineering. Pernah bekerja sebagai engineer di Papua tahun 2001 – 2003 dan bergabung dengan PT. Pembangunan Perumahan tahun 2003 – 2004. Sejak tahun 2005 menjadi dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Kemudian pernah bekerja di PT. INCO Sorowako tahun 2006, dan di PT. Semen Tonasa tahun 2007 – 2008. Pada tahun 2008 juga menjadi tim teknis pembangunan infrastruktur kampus Universitas Hasanuddin Makassar. Andi Subhan Mustari juga aktif dalam organisasi keprofesian, menjadi sekretaris pada organisasi Forum Angkatan Muda Persatuan Insinyur Indonesia (FAM-PII) Wilayah Sulawesi Selatan tahun 2006 – 2008, dan saat ini sebagai Wakil Ketua Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Cabang Makassar. Pada tahun 2007 memperoleh Sertifikat Insinyur Profesional Bidang Teknik Sipil dan sejak tahun 2015 mengikuti Conference of Asean Federation of Engineering Organizations secara periodik. Selain mengajar pada Program Studi Teknik Sipil, juga aktif sebagai dosen tetap pada Program Studi Keinsinyuran Universitas Hasanuddin sejak tahun 2018. Selain itu sebagai Tenaga Ahli dalam perencanaan infrastruktur serta penyelesaian kasus-kasus konstruksi.



ARIS PRIO AMBODO, S.Hut., lahir tanggal 6 April 1975 di Lampung. Lulus S1 pada program studi Silvikultur, Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor pada tahun 1997. Saat ini berkarier di PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale), sebuah perusahaan penambangan nikel yang terintegrasi dengan pengolahannya yang beroperasi di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan sejak tahun 1999 dengan jabatan saat ini sebagai *Senior Manager Environment Strategic Compliance*. Awal karir di PT Vale sebagai *Asisten Engineer Mine Reclamation* yang bertanggung jawab terhadap perencanaan, pelaksanaan dan pemantauan reklamasi lahan bekas tambang hingga tahun 2014 dengan jabatan terakhir sebagai *Manager Mine Reclamation & Environment* yang juga bertanggung jawab terhadap pengelolaan air limpasan tambang. Pada tahun 2014 akhir berpindah karir sebagai *Manager Environment* yang bertanggung jawab terhadap pemantauan, penyusunan sistem manajemen lingkungan, pemenuhan peraturan lingkungan hidup dan secara terus menerus mendorong perbaikan pengelolaan lingkungan di seluruh organisasi PT Vale. Selama berkarier di PT Vale, yang bersangkutan berhasil mengantarkan perusahaan menjadi salah satu yang terbaik dalam pelaksanaan reklamasi lahan bekas tambang di Indonesia dengan meraih penghargaan Adithama dan Tropi dari Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, sehingga menjadi contoh bagi perusahaan lainnya. Pada tahun 2018 membantu perusahaan sehingga mendapatkan sertifikat ISO14001:2015 dan terakhir pada tahun 2019 bersama Team berhasil mengantarkan perusahaan meraih predikat PROPER Hijau pertama dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.



YOHAN LAWANG, S.P., memulai kariernya di PT Vale Indonesia Tbk pada tahun 2003 di bidang reklamasi tambang setelah menamatkan studinya di Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin. Selama 17 tahun berkarier dia telah banyak melakukan kegiatan pemulihan kembali lahan bekas tambang dan pengelolaan air limpasan tambang terkait pengelolaan *chromium hexavalent* di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Saat ini dia memegang posisi sebagai Project Manager Watershed Rehabilitation yang membidangi kegiatan Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai di lahan kritis dalam Kawasan Hutan Lindung di beberapa Kabupaten Provinsi Sulawesi Selatan.



ANDRI ARDIANSYAH, S.Hut., lahir di Sukabumi, 05 Mei 1979. Menyelesaikan S1 pada Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor pada akhir tahun 2002. Pernah mondar mandiri ikut proyek kehutanan selama satu tahun di Bogor. Tahun 2004 memulai karir sebagai staff perencanaan produksi dan kontrol di perusahaan kayu lapis PT. Panply Palopo, setahun kemudian mendapat penugasan menjadi kepala bagian perencanaan di PT. BioForest Indonesia sebuah perusahaan Hutan Tanaman Industri yang fokus melakukan penanaman kayu Gmelina sebagai salah satu bahan baku industri kayu lapis. Setelah ditugaskan sebagai Site Manager pada tahun 2011, sekaligus menyelesaikan satu daur produksi kayu Gmelina di PT BioForest, pada akhir 2012 Andri memutuskan untuk menerima kesempatan bekerja di dunia reklamasi bekas tambang PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale). Awal karir di PT Vale sebagai *Asisten Reforestation Engineer* direklamasi Mining Departemen, seiring waktu kariernya bertahap naik hingga saat ini menjadi Manajer Reklamasi dan Rehabilitasi di Departemen Energy and Environment PT Vale.



AHMAD FAUZAN ADZIMA, S.P., M.Sc., lahir di Ujungpandang, 3 April 1992. Lulus S1 di Program Studi Agroteknologi minat Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tahun 2015 dengan fokus penelitian bidang karakteristik dan klasifikasi tanah. Dilanjutkan dengan menempuh dan meraih gelar master pada Program Studi S-2 Geografi Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada tahun 2019 dengan fokus karakteristik, klasifikasi, pemetaan detail tanah HAHT (*Human Altered-Human Transported*) dan dampaknya terhadap kelestarian lingkungan. Semasa studi S-2, penulis bergabung di Laboratorium Geomorfologi Lingkungan dan Mitigasi Bencana (GLMB) Fakultas Geografi UGM dan terlibat langsung dalam beberapa kegiatan kerjasama baik dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) maupun swasta serta beberapa kegiatan pengabdian pada masyarakat.









TANAH REKLAMASI BEKAS TAMBANG NIKEL

Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya

Tanah berasal dari batuan induk yang telah mengalami proses pelapukan. Proses pembentukan tanah ini melalui beberapa tahapan, yang diawali dari proses pelapukan yang berlangsung terus menerus sampai bahan induk tanah bisa berubah menjadi tanah. Tanah yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang akan membedakan antara satu tanah dengan tanah yang lainnya. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik fisik, kimia kesuburan, biologi dan mineralogi tanah. Tanah bekas tumbang adalah tanah sisa hasil dari kegiatan pertambangan dan sangat jarang ditemukan horizon tanah asli. Kebanyakan tanah yang dikembalikan telah bercampur dan membentuk horizon baru yang mungkin sulit dikenali batasnya. Selain itu, berbagai masalah timbul seperti pemadatan tanah, kesuburan tanah rendah, populasi mikroorganisme berguna yang berkurang, dan terjadinya pencemaran logam-logam berat dalam tanah. Dampak tersebut memungkinkan lahan menjadi tidak optimal untuk digunakan kembali sehingga diperlukan tindakan perbaikan yang dikenal dengan reklamasi lahan bekas tambang yang bertujuan memperbaiki atau menata kegunaan lahan yang terganggu sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan agar dapat berfungsi dan berdaya guna sesuai peruntukannya. Kendala sifat fisik, kimia dan kesuburan tanah bekas tambang nikel masih dapat diatasi dengan teknologi tanah baik secara kimiawi-biologi, vegetatif dan mekanik sehingga kualitas tanah menjadi lebih optimal dalam upaya pengembalian keanekaragaman hayati lahan reklamasi. Lahan reklamasi bekas tambang nikel berpotensi untuk pengembangan tanaman kayu dan non-kayu bahkan untuk tanaman pangan jika kualitas tanah diperbaiki dengan berbagai tindakan seperti konservasi tanah dan air, pemupukan yang tepat (jenis dan dosis), pemulihan kesuburan dan fisik tanah dengan teknologi bioremediasi dan fitoremediasi serta pemilihan tanaman yang sesuai dengan kondisi biofisik lahan pasca tambang. Kualitas tanah yang optimal akan menunjang kehidupan di dalamnya tetap lestari.



Penerbit dan Percetakan:
CV. Social Politic Genius (SIGn)



Redaksi:
Jln. Mub. Jufri No. 1, Makassar 90215
082291222637
www.penerbitsign.com
www.bibliografi.penerbitsign.com

Anggota IKAPI Sulsel
ISBN 978-602-5522-45-1

