

TEKNOLOGI REKLAMASI LAHAN BEKAS TAMBANG NIKEL UNTUK MEMPERCEPAT KEBERHASILAN REKLAMASI

Suardi^{1,2}, Octaviana Randrikasari²

¹⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian,
IPB University, Dramaga, Bogor 16680

²⁾ Pusat Studi Reklamasi Tambang, IPB University, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor 16143
Email: suwardi-soil@apps.ipb.ac.id

RINGKASAN

Nikel terbentuk melalui pelapukan batuan ultrabasa atau ultramafik yang berasal dari kerak samudra yang teralihkan ke permukaan kerak benua. Proses pembentukan ini memakan waktu jutaan tahun, dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Penambangan nikel memainkan peran penting dalam industri baterai kendaraan listrik dan perekonomian di Indonesia, namun dampaknya terhadap lingkungan sering menghasilkan lahan bekas tambang dengan karakteristik unik yang sulit direklamasi. Lahan bekas tambang sering memiliki rasio Mg/Ca yang lebih tinggi dari satu. Selain itu, tanah di lahan bekas tambang nikel biasanya dangkal dan bersifat hidrofobik, menyebabkan kesulitan dalam menyerap air. Reklamasi lahan bekas tambang menjadi fokus utama untuk mengembalikan meningkatkan daya serap tanah terhadap air dan produktivitas lahan. Dengan pendekatan perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi, teknologi reklamasi mencakup metode pembuatan lubang tanam berukuran 60x60x60 cm, pengomposan bahan organik, dan penggunaan *Super Absorbent Polymer* (SAP) guna meningkatkan daya serap tanah terhadap air. Dalam konteks ini, teknologi reklamasi menjadi kunci untuk mempercepat keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang nikel secara berkelanjutan dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya tambang nikel di Indonesia.

Kata kunci: Lahan bekas tambang, reklamasi lahan, *Super Absorbent Polymer* (SAP), tambang nikel

RECLAMATION TECHNOLOGY FOR NICKEL POST-MINING LAND TO ACCELERATE RECLAMATION SUCCESS

ABSTRACT

Nickel is formed through the weathering of ultrabasic or ultramafic rocks originating from oceanic crust which is transferred to the surface of continental crust. This formation process took millions of years, starting when ultramafic rocks were exposed on the earth's surface. Nickel mining plays an important role in the electric vehicle battery industry and economy in Indonesia, but its impact on the environment often results in mined land

with unique characteristics that is difficult to reclaim. Ex-mining land often has a Mg/Ca ratio higher than one. In addition, the soil on ex-nickel mining land is usually shallow and hydrophobic, making it difficult to absorb water. Reclamation of ex-mining land is the focus to restore, increase the soil's water absorption capacity and land productivity. With an approach to improving physical, chemical, and biological properties, reclamation technology includes the method of making planting holes measuring 60x60x60 cm, composting organic materials, and using Super Absorbent Polymer (SAP) to increase the soil's water absorption capacity. In this context, reclamation technology is the key to accelerating the successful reclamation of ex-nickel mining land in a sustainable manner and optimizing the utilization of nickel mining resources in Indonesia.

Keywords: *Ex-mining land, land reclamation, nickel mining, Super Absorbent Polymer (SAP)*

PERNYATAAN KUNCI

Pemerintah Republik Indonesia telah mengumumkan rencana pelaksanaan Program Hilirisasi Bijih Nikel, yang diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 11 Tahun 2019. Langkah ini diambil sebagai bagian dari dukungan terhadap kebijakan pelarangan ekspor bijih nikel mentah. Program ini dianggap sebagai strategi yang sangat tepat untuk meningkatkan nilai tambah di dalam negeri dengan mendorong produksi dan ekspor produk nikel yang telah diolah, menggantikan penjualan bijih mentah.

Kebijakan hilirisasi nikel berpengaruh terhadap ekspansi luas tambang nikel, memperluas cakupan lahan tambang, dan meluaskan lahan bekas tambang nikel. Di sisi lain, pemerintah melalui UU No. 27 tahun 2007 Pasal 35 menyampaikan larangan melakukan penambangan mineral pada wilayah pulau-pulau kecil yang dapat menimbulkan kerusakan ekologis, sosial, budaya, dan lingkungan.

Umumnya, lahan bekas tambang memiliki *top soil* dangkal akibat pengerukan tanah pucuk. Tanah bekas tambang nikel memiliki daya serap air rendah dan miskin unsur hara. Diperlukan tindakan efektif guna memperbaiki kualitas tanah sehingga kegiatan reklamasi dapat berjalan dengan sukses. Melalui percepatan proses reklamasi, diharapkan kegiatan reklamasi ini dapat berjalan semakin baik, mengurangi dampak kerusakan lingkungan dan sekaligus mendukung suksesnya hilirisasi nikel

REKOMENDASI KEBIJAKAN

- Indonesia harus mempercepat proses reklamasi lahan tambang nikel untuk meminimalkan dampak lingkungan dan memungkinkan penggunaan ulang lahan yang sudah dieksploitasi.
- Reklamasi lahan harus diarahkan pada pendekatan yang holistik dan terintegrasi, menggabungkan aspek fisik, kimia, dan biologi. Dalam konteks ini, pembuatan lubang tanam berukuran 60x60x60 cm dan penggunaan kompos

dengan penambahan bahan *Super Absorbent Polymer* (SAP) perlu dijadikan praktek standar. Penggunaan SAP akan meningkatkan daya serap tanah terhadap air, mendukung pertumbuhan tanaman, dan membantu mengembalikan produktivitas lahan dengan lebih efektif.

- Pemerintah Indonesia dan industri tambang nikel perlu menjalin kerja sama yang erat dalam berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi yang ramah lingkungan. Langkah-langkah ini akan membantu mengatasi masalah lingkungan yang berhubungan dengan pertambangan nikel, menjaga keberlanjutan ekosistem, dan mendukung penggunaan sumber daya tambang nikel yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya mineral. Salah satunya adalah endapan bijih laterit (nikel oksida). Berdasarkan informasi dari US *Geological Survey*, Indonesia memegang posisi sebagai pemilik cadangan nikel terbesar di dunia, yaitu mencapai jumlah sebesar 21 juta ton. Perbedaan jumlah yang signifikan terlihat dibandingkan dengan negara-negara lain, Brazil menempati urutan kedua dengan cadangan sebesar 16 juta ton, diikuti oleh Rusia dengan 7,5 juta ton, China dengan 2,1 juta ton, dan US memiliki jumlah

terendah hanya 370 ribu ton pada tahun 2022 (USGS, 2023). Adapun persebaran bijih nikel laterit di Indonesia banyak ditemukan di Pulau Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Halmahera, Papua, dan sedikit di Kalimantan. Sulawesi Tenggara, sebagai contoh, menampung tambang nikel terbesar di Indonesia dengan luas mencapai 198.624,66 ha. Sebagai ilustrasi tambang nikel di Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara, menempati luas sekitar 21.100 ha. Sulawesi Tengah memiliki tambang nikel dengan luas mencapai 115.397,37 ha, sementara Sulawesi Selatan memiliki tambang nikel seluas 198.624,66 ha. Papua memiliki deposit tambang nikel dengan luas mencapai 16.470 ha, sedangkan Papua Barat memiliki deposit sekitar 22.636 ha. Maluku memiliki luas tambang nikel sekitar 4.389 ha, sedangkan Maluku Utara memiliki deposit nikel seluas 156.197,04 ha (Mustajab, 2022).

Sebelum diterapkannya larangan ekspor mineral mentah, sebagian besar produksi nikel di Indonesia diekspor dalam bentuk bijih nikel, sementara penggunaannya di dalam negeri masih tergolong rendah (Arif, 2018). Penggunaan nikel yang masih rendah di Indonesia sebagian besar dapat didistribusikan kepada kurangnya industri pengolahan yang mampu mengubah bijih nikel menjadi produk jadi atau bahan baku yang lebih maju. Hanya dua perusahaan yang terlibat dalam pengolahan bijih nikel di Indonesia, khususnya bijih saprolit yang memiliki

kandungan nikel tinggi, yaitu PT. INCO yang menghasilkan *nickel matte* dan PT. Antam yang memproduksi ferronikel (Astuti *et al.*, 2012). Hal ini mengakibatkan rendahnya kontribusi nikel terhadap industri dalam negeri.

Sejak tahun 2020, Indonesia menerapkan kebijakan pelarangan ekspor nikel mentah. Dasar hukum larangan UU Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara. Pasal 103 menetapkan bahwa pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan Izin Usaha Pertambangan Khusus Operasi Produksi wajib mengolah dan memurnikan hasil tambang di dalam negeri. Sesuai dengan Pasal 170, pemurnian di dalam negeri seharusnya dilakukan paling lambat lima tahun setelah Undang-undang tersebut diundangkan pada 12 Januari 2009. Oleh karena itu, larangan ekspor seharusnya diberlakukan pada 12 Januari 2014. Meskipun demikian, implementasi larangan ekspor bijih nikel baru diaktifkan pada 1 Januari 2020 melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 11 Tahun 2019.

Akibat dari kebijakan pelarangan ekspor nikel mentah yang diterapkan oleh Indonesia, Uni Eropa merasa dirugikan dan mengambil langkah hukum dengan menggugat Indonesia pada 22 November 2019. Uni Eropa mengargumentasikan bahwa tindakan Indonesia untuk membatasi ekspor bahan mentah tidak konsisten

dengan Pasal XI.1 GATT karena dapat merugikan dan menyulitkan negara-negara di kawasan Eropa dalam mendapatkan bahan baku nikel (Hassanah, 2021).

Namun Presiden Jokowi menegaskan bahwa larangan tersebut bertujuan untuk menggalakkan hilirisasi di dalam negeri guna meningkatkan nilai tambah dalam industri tambang. Sebagai negara yang berdaulat dan berpegangan pada kontribusi UUD 1945, Indonesia mutlak melakukan hilirisasi karena sumber daya alam harus digunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Tanpa hilirisasi, rakyat hanya menikmati segelintir manfaat dari kekayaan alam.

Guna memastikan kelangsungan kegiatan penambangan dan tetap terjaganya kualitas lingkungan, dilakukan pengawasan, dan evaluasi terhadap kinerja perusahaan pertambangan, terutama dalam rehabilitasi dan reklamasi lahan di area bekas tambang. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 78 Tahun 2010, pelaksanaan reklamasi harus dilakukan paling lambat 30 hari setelah tidak ada kegiatan usaha pertambangan pada lahan terganggu. Berdasarkan PP No. 96 Tahun 2021, proses reklamasi dan/atau pascatambang harus mencapai tingkat keberhasilan 100% selama masa pelaksanaan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) sebagai Kelanjutan Operasi Kontrak Perjanjian. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan skala kegiatan penambangan nikel secara lebih luas.

Reklamasi lahan bekas tambang adalah sebuah tantangan yang besar karena melibatkan teknologi yang kompleks dan sering kali lahan tambang memiliki tingkat kerusakan yang tinggi. Salah satu pendekatan untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan mengembangkan teknologi reklamasi yang efektif dan efisien. Keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang sangat bergantung pada pemahaman ekologi di daerah yang akan direklamasi, yang memungkinkan kita untuk memahami karakteristik lahan bekas tambang, termasuk jenis-jenis tumbuhan yang dapat tumbuh di sana. Pengetahuan ini dapat digunakan untuk menentukan jenis-jenis tumbuhan pionir yang sesuai dengan kondisi lokasi tambang yang akan direklamasi. Selain itu, juga dapat membantu dalam identifikasi bibit lokal yang mungkin tidak tersedia di lokasi reklamasi.

Dalam hal teknis, penggunaan metode "*direct seedling*" memiliki keunggulan karena bibit yang ditanam telah memiliki adaptasi terhadap kondisi lingkungan, khususnya kondisi tanah di lokasi reklamasi. Akar yang kuat pada bibit "*direct seedling*" memungkinkan tanaman untuk lebih efisien menyerap nutrisi dari tanah. Namun, untuk berhasil menerapkan metode ini, diperlukan pengetahuan khusus dalam mengenali bibit yang baik dan cara mentransplantasikan bibit ke area reklamasi. Ini termasuk kemampuan dalam membuat "putaran" untuk memindahkan bibit dengan berbagai ukuran dan

tingkat umur yang berbeda. Penting juga untuk memperlakukan bibit dengan hati-hati saat memindahkannya ke lokasi tanam agar akar tanaman tetap utuh dan tidak rusak (Hirfan, 2018; Prastiyo *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, penggunaan metode "putaran" dalam transplantasi tumbuhan lokal dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan evaluasi keberhasilan reklamasi sebanyak 25%. Proses ini juga diharapkan dapat membantu memperbaiki iklim mikro di sekitar area pertambangan, menciptakan lingkungan yang lebih kondusif bagi pertumbuhan tanaman dan pemulihan ekosistem secara keseluruhan. Selain itu, peningkatan evaluasi keberhasilan reklamasi dapat berkontribusi pada percepatan pelepasan dana jaminan reklamasi, mempercepat proses pemulihan lahan, dan mendukung keberlanjutan lingkungan (Iman dan Wibowo, 2015).

Tambang nikel banyak mengalami tantangan yang kompleks terkait dengan karakteristik alami dan fisiknya. Nikel merupakan material yang terbentuk melalui proses pelapukan batuan ultrabasa atau ultramafik, yang diyakini berasal dari kerak samudra yang teralihkan ke permukaan kerak benua (Dipatunggoro, 2010). Proses pembentukan ini memerlukan waktu selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi (Kurniadi *et al.*, 2017). Selain aspek geologis, lahan bekas tambang mengalami kerusakan

fisik yang signifikan. Kegiatan penambangan telah mengurangi kedalaman efektif tanah, yang menjadikannya dangkal. Ditambah lagi, tanah laterit yang sering ditemui di lokasi tambang nikel memiliki kapasitas penyerapan air yang rendah (Associates, 1971). Oleh karena itu, diperlukan teknik khusus untuk meningkatkan daya serap air dengan menambahkan bahan organik atau bahan lain yang memiliki daya serap air yang tinggi.

Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya serap terhadap air yang tinggi antara lain, pelaksanaan reklamasi lahan bekas tambang melalui penutupan lubang-lubang tambang. Proses penutupan lubang tambang melibatkan pengangkutan material penutup, pemadatan material penutup (tanah, batu, atau bahan lainnya), dan penanaman vegetasi dapat membantu meningkatkan daya serap air tanah. Penambahan bahan organik seperti kompos dapat memperbaiki struktur tanah dan kemampuan tanah untuk menahan air (Karamoy *et al.*, 2015). Selain itu, penggunaan limbah SAP dapat menjadi solusi efektif karena memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah yang sangat besar, mencapai antara 100 hingga 300 kali bobotnya (Sarifuiddin *et al.*, 2021). Sifat penyerapan air yang tinggi menjadikannya sebagai bahan pengontrol kelembaban tanah (Ramdani *et al.*, 2021).

Penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi teknologi reklamasi yang efek-

tif dan komprehensif untuk meningkatkan percepatan pemulihan lahan bekas tambang nikel. Dengan pemahaman bahwa reklamasi lahan tambang nikel melibatkan tantangan teknologi dan tingkat kerusakan yang tinggi, pengembangan solusi yang efisien juga mempertimbangkan kondisi ekologi di daerah yang akan direklamasi, dengan harapan dapat mempercepat keberhasilan proses reklamasi dan mendukung upaya hilirisasi serta pengelolaan nikel berkelanjutan di Indonesia.

SITUASI TERKINI

Menurut USGS (2023) produksi tambang nikel global pada tahun 2022, meningkat sekitar 20% dari tahun 2021 dan dapat dilihat bahwa Indonesia memiliki peran dominan terhadap peningkatan produksi global karena hampir seluruh peningkatan produksi tersebut berasal dari Indonesia. Tabel 1 menunjukkan bahwa Indonesia menjadi kontributor utama terhadap peningkatan produksi tambang nikel global. Pada tahun 2022, produksi nikel Indonesia melonjak dari 1.040.000 juta m³ ton menjadi 1.600.000 juta m³ ton, mencapai pertumbuhan sebesar 53%. Hal ini mendominasi pertumbuhan produksi global dan menandakan peran kunci Indonesia dalam pasar nikel dunia.

Peningkatan produksi nikel Indonesia didorong oleh beberapa faktor, termasuk meningkatnya permintaan industri dari sektor baja, baterai, dan teknologi elektronik. Selain itu, kebijakan hilirisasi bijih nikel yang

diterapkan oleh pemerintah Indonesia juga turut berkontribusi dalam peningkatan produksi nikel. Hal ini mencerminkan komitmen Indonesia untuk meningkatkan nilai tambah dan mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan.

Tabel 1. Produksi tambang nikel di dunia

Provinsi	Produksi (juta m ³ ton)	
	2021	2022
Amerik Serikat	18.400	18.000
Australia	151.000	160.000
Brazil	76.000	83.000
Kanada	134.000	130.000
China	109.000	110.000
Indonesia	1.040.000	1.600.000
Kaledonia Baru	186.000	190.000
Filipina	387.000	330.000
Rusia	205.000	220.000
Negara lain	429.000	440.000
Total	2.730.000	3.300.000

Sumber: USGS (2023)

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat, Indonesia memiliki tambang nikel seluas 520.877,07 ha. Tambang tersebut tersebar di tujuh provinsi, yaitu Maluku, Maluku Utara, Papua, Papua Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara (Shiddiq, 2023). Data pada

Tabel 2 memberikan gambaran lebih rinci tentang sebaran luas tambang nikel di berbagai provinsi di Indonesia. Provinsi Sulawesi Tenggara memiliki luas tambang tertinggi, diikuti oleh Sulawesi Selatan dan Maluku Utara. Pemahaman mendalam ten-

tang distribusi geografis ini dapat menjadi dasar untuk pengelolaan tambang yang berkelanjutan dan kebijakan hilirisasi nikel di tingkat regional.

Tabel 2. Luas tambang nikel menurut provinsi di Indonesia

Provinsi	Luas (ha)
Sulawesi Tenggara	198.624.66
Sulawesi Tengah	115.397.37
Sulawesi Selatan	198.624.66
Papua	16.470
Papua Barat	22.636
Maluku	4.389
Maluku Utara	156.197,04
Total	520.877,07

Sumber: Kementerian ESDM (2023)

Data dari Minerba One Data Indonesia (MODI) per Oktober 2023 menunjukkan bahwa produksi Ferro Nickel di Indonesia mencapai 516.694,54 ton dan Nickel Matte sebanyak 75.961,54 ton, dengan penjualan masing-masing mencapai 197.758 ton dan 53.796,41 ton. Selama Januari hingga Juli 2023, nilai ekspor Free On Board (FOB) komoditas nikel mencapai USD 4.030.874.843, mengalami peningkatan sekitar USD 1.057.626.237, menunjukkan kenaikan sebesar 35,57% dibandingkan dengan periode tahun sebelumnya. Kontribusi ekspor nikel ini terhadap total ekspor non-migas mencapai 2,87%.

Tabel 3 menunjukkan China menjadi tujuan ekspor terbesar dengan berat bersih mencapai 552.615.248 kg dan nilai FOB

sebesar USD 2.898.746.845. Norwegia juga menjadi salah satu tujuan ekspor signifikan dengan berat bersih 24.246.746 kg dan nilai FOB mencapai USD 320.548.215. Perolehan ini mencerminkan peran strategis Indonesia dalam pasar nikel global, khususnya melalui kinerja ekspor yang positif.

Tabel 3. Tujuan ekspor, berat bersih, dan nilai FOB komoditas nikel (Januari–Juli 2023)

Negara Tujuan	Berat Bersih (kg)	Nilai FOB (USD)
Japan	52.068.457	789.291.443
Korea	2.760.835	10.894.956
Taiwan	205.277	750.869
China	552.615.248	2.898.746.845
Singapura	30.158	126.470
Malaysia	164.032	1.275.803
India	97.857	151.549
Oman	305	4.868
Amerika Serikat	33	1.274
Brazil	2.010	82.551
Norwegia	24.246.746	320.548.215
Total	632.190.958	4.030.874.843

Sumber: BPS (2023)

Sejak dimulainya program hilirisasi sumber daya alam, khususnya logam nikel di Indonesia, beberapa efek mulai terlihat dalam perekonomian nasional. Tercatat pada tahun 2022, nilai ekspor ferronikel mencapai USD 13,6 miliar, atau meningkat 92% dibandingkan nilai ekspor pada tahun 2021 yang sebesar USD 7,08 miliar. Nilai ekspor nikel matte juga melonjak sebesar 300%, dari USD

0,95 miliar pada tahun 2021 menjadi USD 3,82 miliar pada tahun 2022. Upaya hilirisasi ditunjukkan dengan tekad kuat pemerintah dan sektor swasta dalam mendirikan instalasi pemurnian dan pengolahan (smelter). Saat ini terdapat 38 smelter nikel *stand alone* yang telah beroperasi di bawah binaan Kementerian Perindustrian (Kemenperin) dengan nilai investasi mencapai USD 15,8 Miliar (Kementerian Perindustrian, 2023).

Program peningkatan nilai tambah mineral dan pencapaian pembangunan infrastruktur pengolahan dan/atau pemurnian hingga tahun 2021, sebanyak 21 smelter sudah dibangun dalam rangka mendorong *multiplier effect* ekonomi dan kesejahteraan rakyat. Selanjutnya untuk terus meningkatkan industrialisasi berbasis hilirisasi mineral dalam total smelter yang akan dibangun sampai dengan tahun 2024 sebesar 48 smelter komoditas tembaga, nikel, bauksit, besi, mangan, timbal dan seng (Kementerian ESDM, 2022).

Data terkini menunjukkan bahwa sektor nikel memberikan kontribusi signifikan pada perekonomian Indonesia. Namun, situasi reklamasi tambang nikel masih menghadapi kendala, termasuk lambatnya progres dan koordinasi yang kurang efektif. Alasan lahan bekas tambang nikel sulit direklamasi dapat dilihat dari hasil analisis sifat-sifat kimia tanah pada

Tabel 4 yang menunjukkan bahwa pH di lahan bekas tambang nikel tergolong asam. Kandungan C-organik di lokasi tersebut juga dinilai rendah. Kandungan basa-basa tersedia ditandai oleh kadar Ca-dd yang sangat rendah, K-dd yang rendah. Sifat-sifat seperti tersebut di atas sudah sangat lazim pada lahan bekas tambang. Nilai KTK dan KB tergolong rendah hingga sedang. Akan tetapi yang berbeda dengan lahan bekas tambang lain adalah Mg-dd yang lebih tinggi dari Ca-dd. Tingginya konsentrasi Mg-dd di tanah bekas tambang mengakibatkan ketidakseimbangan unsur hara di dalam tanah. Hal ini sejalan dengan pernyataan

Chaudhry *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa Mg yang berlebihan dapat menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara lain dalam tanah, seperti kalsium dan kalium, serta dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

Analisis sifat kimia tanah menunjukkan variasi yang signifikan pada berbagai kedalaman tanah di lahan bekas tambang nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Pemahaman mendalam terhadap sifat-sifat ini sangat penting dalam merancang strategi reklamasi dan rehabilitasi lahan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem setelah aktivitas pertambangan.

Tabel 4. Analisis sifat kimia pada contoh tanah di lahan bekas tambang nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara

Kedalaman Tanah (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	C-Organik (%)	Ca-dd Mg-dd K-dd Na-dd				KTK	KB (%)
				(me/100 g)					
0 – 12	6,20	5,30	2,75	3,31	6,00	0,51	0,35	14,8	68,9
12 – 38/40	6,30	5,30	0,99	0,49	5,33	0,18	0,26	14,2	44,1
38/40 – 135	6,70	5,50	0,70	0,46	3,87	0,13	0,26	15,3	30,8
135 – 194	6,20	5,30	0,92	0,43	12,4	0,05	0,17	24,4	53,3
> 194	6,30	5,20	0,44	0,74	14,8	0,03	0,13	28,9	54,1

Sumber: Widiatmaka *et al.* (2010)

Selain itu, monitoring logam berat perlu ditingkatkan untuk mengevaluasi dampak lingkungan secara menyeluruh. Mineral zeolit dapat dipergunakan sebagai penjerap unsur atau senyawa yang tidak diinginkan seperti logam-logam berat (Mulyanto dan Suwardi 2006). Tekstur tanah sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air, tanah bertekstur liat

memiliki kemampuan yang lebih besar dalam menahan air dibandingkan dengan tanah yang bertekstur pasir (Faiz dan Prijono, 2021). Berdasarkan analisis tekstur pada Tabel 5, dapat diamati bahwa tanah bekas tambang nikel mengalami perubahan signifikan dalam komposisi fraksi tanahnya. Terjadi penurunan kandungan pasir dari 7% menjadi 4,5% dan liat dari 33% menjadi

23,5%, sementara kandungan debu mengalami peningkatan dari 60% menjadi 72%. Perubahan ini menunjukkan pergeseran tekstur tanah menuju kondisi yang lebih dominan oleh fraksi debu. Penurunan kandungan pasir dan liat sejalan dengan proses pertambangan yang umumnya mengakibatkan hilangnya lapisan tanah bagian atas (*top soil*) yang kaya akan bahan organik dan butir-butir halus (Rahadian *et al.*, 2022). Peningkatan kandungan debu mungkin disebabkan oleh aktivitas penggalian yang dapat menghasilkan partikel-partikel halus dan serbuk batuan.

Kondisi fraksi liat yang rendah dapat berdampak pada menurunnya kapasitas menahan air tanah (Maghfiroh *et al.*, 2022). Liat memiliki sifat-sifat kohesif dan daya tahan yang memungkinkan pembentukan struktur tanah yang baik dan kapasitas untuk menahan air. Oleh karena itu, ketika kandungan liat menurun, struktur tanah dapat menjadi lebih longgar dan porositasnya meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian (Subhan *et al.*, 2019) yang menyatakan bahwa tanah di lahan bekas penambangan diklasifikasikan sebagai pasir berlempung (dari pasir agak kasar sampai lempung halus). Hal ini berarti fraksi pasir lebih banyak daripada fraksi tanah lainnya. Sifat tanah ini cenderung kurang baik dalam menahan air, yang dapat menyebabkan kurangnya cadangan air bagi tanaman.

Tabel 5. Analisis tekstur di lahan bekas tambang nikel

Kriteria Tanah	Tekstur (%)		
	Pasir	Debu	Liat
Sebelum tambang	7,0	60,0	33,0
Setelah tambang	4,5	72,0	23,5

Sumber: Allo dan Kiding (2016)

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat deskriptif analitis, menggambarkan dan menguraikan keadaan atau fakta yang terkait dengan percepatan reklamasi lahan tambang nikel guna meningkatkan produksi tambang nikel di Indonesia. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data dari berbagai sumber, analisis peraturan, dan studi literatur, serta memanfaatkan pengalaman praktis dalam bidang reklamasi tambang.

Sumber Data

Sumber data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari literatur ilmiah, dokumen kebijakan pemerintahan, serta kementerian yang terkait dengan regulasi tentang sumber daya mineral. Dalam konteks ini, data perekonomian yang relevan diambil dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan data perundang-undangan melalui penelusuran pada situs resmi pemerintah, yakni <https://peraturan.go.id/>; <https://www.bps.go.id/>; <https://modi.esdm.go.id/>; <https://www.kemenperin.go.id/> dan riset-riset terdahulu juga menjadi bagian dari sumber data.

Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran peraturan dan undang-undang yang berkaitan dengan tambang nikel, dengan fokus pada UU No. 27 tahun 2007, UU No. 4 Tahun 2009, dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 11 Tahun 2019. Penelitian juga mencakup aturan-aturan terkait reklamasi lahan bekas tambang, seperti Peraturan Pemerintah No. 78 Tahun 2010. Selain itu, data ekonomi yang relevan dengan industri tambang nikel juga diakses melalui situs resmi termasuk publikasi dari U.S. *Geological Survey*, Badan Pusat Statistik, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, dan Kementerian Perindustrian. Data tersebut memberikan landasan kuat untuk memahami dinamika ekonomi terkait produksi, ekspor, dan kontribusi industri tambang nikel terhadap perekonomian nasional. Penggunaan data sekunder ini mendukung analisis kontekstual mengenai regulasi dan kondisi ekonomi yang mempengaruhi proses reklamasi dan produksi nikel.

Data karakteristik tanah diperoleh melalui studi literatur dan data penelitian sebelumnya oleh Widiatmaka *et al.* (2010) yang kemudian diinterpretasi untuk memahami kondisi tanah di lahan bekas tambang. Fokus utamanya adalah menggali informasi tentang sifat kimia tanah dan kandungan nutrisi, dan aspek lainnya yang relevan. Hal ini menjadi dasar penting untuk

merumuskan alternatif solusi dalam proses reklamasi lahan tambang nikel. Data dari beberapa penelitian sebelumnya, artikel ilmiah, dan dokumen terkait diperoleh melalui penelusuran *Google Scholar*. Analisis data ini dilakukan untuk memperoleh wawasan yang mendalam untuk menyusun pemahaman yang komprehensif mengenai reklamasi lahan tambang nikel.

Pengalaman Praktis di Pusat Studi

Reklamasi Tambang (Reklamatam)

Penulis memiliki pemahaman mendalam terkait permasalahan reklamasi lahan bekas tambang, yang dapat memberikan wawasan praktis dan solusi implementatif dalam upaya percepatan reklamasi lahan tambang nikel. Berikut adalah beberapa pengalaman praktis penulis di Pusat Studi Reklamasi Tambang:

1. Survei tanah dan reklamasi lahan padi di Delta Berbak, Jambi (2005-2007)

Penulis terlibat dalam survei tanah dan reklamasi lahan padi di Delta Berbak, Jambi dalam kerja sama dengan Pemda Provinsi Jambi.

2. Evaluasi lahan bekas tambang di berbagai daerah (2012-2018)

Penulis berpartisipasi dalam evaluasi lahan bekas tambang di berbagai daerah tambang di Bangka, Kalimantan, dan Sulawesi, serta bekerja sama dengan Kementerian ESDM.

Selain pengalaman langsung, penulis juga telah menghasilkan beberapa tulisan terkait reklamasi tambang, antara lain:

1. Prospek Zeolit sebagai Bahan Penjerap dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang (Suwardi, B Mulyanto, 2006): Dipublikasikan dalam Jurnal Zeolit Indonesia, Vol 5 (2): 77-85. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/30515>.
2. Pemanfaatan Bahan Humat dan Abu Terbang untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang" (Surya Herdjuna, Suwardi, Sri Djuniwati, 2011): Dipresentasikan dalam Prosiding Seminar Teknologi Reklamasi Tambang untuk Mendukung Green Mining. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/46837>.
3. Meningkatkan Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang (Iskandar, Suwardi, 2009): Dipresentasikan dalam Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya, 21-22 Oktober 2009 di Palembang. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/62634>.
4. Reklamasi lahan-lahan bekas tambang: beberapa permasalahan terkait sifat-sifat tanah dan solusinya (Iskandar, Suwardi, Dyah Tjahyandari Suryaningtyas, 2012): Dipresentasikan dalam Seminar Nasional Teknologi

Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi.

<https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/62632>.

Pengalaman praktis dan kontribusi penulis dalam publikasi ilmiah menciptakan dasar yang kuat untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam dalam konteks reklamasi lahan bekas tambang, terutama dalam industri nikel.

Dengan menggabungkan data sekunder, studi literatur, dan pengalaman praktis, metode penelitian ini dapat mendukung rekomendasi teknologi reklamasi yang efektif dan terukur guna meningkatkan keberlanjutan dan efektivitas pemulihan lahan bekas tambang nikel di Indonesia.

ANALISIS DAN ALTERNATIF

SOLUSI

Reklamasi lahan bekas tambang nikel merupakan tantangan besar yang memerlukan perencanaan dan implementasi yang matang. Keberhasilan reklamasi bukan hanya ditentukan oleh pengembangan lahan yang sesuai tetapi juga oleh penggunaan metode dan teknologi yang tepat. Oleh karena itu, dalam tahap analisis dan penanganan, kita akan membahas berbagai alternatif solusi untuk memastikan bahwa reklamasi berjalan efektif dan efisien. Dalam konteks ini, kita akan menjelajahi beragam metode, mulai dari pemilihan tanaman adaptif, praktik pencampuran kompos dengan *top soil*, hingga penggunaan SAP

dalam upaya mempercepat pemulihan lahan bekas tambang nikel.

Pembuatan Lubang Tanam untuk Tanaman Adaptif pada Lahan Bekas Tambang Nikel

Pembuatan lubang tanam adalah solusi fisik yang dapat diterapkan dalam kegiatan reklamasi lahan bekas tambang. Solusi ini melibatkan pembuatan lubang tanam berukuran standar, yakni 60x60x60 cm untuk menempatkan tanaman adaptif di lahan reklamasi. Tujuan dari pembuatan lubang tanam adalah menciptakan ruang yang cukup untuk pertumbuhan akar tanaman secara optimal. Dilakukan juga penyusunan pola tanam yang teratur untuk membantu memastikan distribusi tanaman yang merata di seluruh lahan reklamasi. Selain itu, pembuatan lubang tanam juga dapat meningkatkan sirkulasi udara di dalam tanah dan memfasilitasi penyerapan air, yang merupakan faktor kunci dalam mempromosikan pertumbuhan vegetasi. Penggunaan tanaman adaptif dan pembuatan lubang tanam dapat membantu mengembalikan keseimbangan ekologis lahan reklamasi dan mendorong pertumbuhan jenis tanaman asli.

Kegiatan revegetasi dan reklamasi setelah pertambangan seharusnya mempertimbangkan penggunaan spesies asli untuk menciptakan ekosistem baru. *Indigenous species* merupakan jenis tumbuhan lokal yang telah tumbuh di sekitar area pertambangan sebelum kegiatan pertambangan dimulai (Gairola

et al., 2023). Penggunaan spesies asli penting karena mereka sudah beradaptasi dengan lingkungan lokal dan dapat membantu mengembalikan keseimbangan ekologis di area tersebut. Dalam beberapa kasus, perusahaan pertambangan dapat bekerja sama dengan masyarakat setempat untuk mengumpulkan biji-biji dari tanaman lokal. Namun, penting untuk dicatat bahwa beberapa tanaman lokal mungkin mengalami kesulitan tumbuh di area terbuka dan pemilihan tanaman sebaiknya didasarkan pada lokasi area pertambangan.

Jenis tanaman adaptif pada lahan bekas tambang nikel memiliki peran vital dalam upaya reklamasi dan pemulihan ekosistem. Di PT. Vale Indonesia Tbk. site Pomalaa, terdapat beragam tanaman adaptif yang mampu berkembang di lingkungan yang mungkin kurang kondusif. Beberapa jenis tanaman adaptif yang tercatat pada

. Tanaman ini memiliki habitat yang beragam dan dapat mengisi peran kunci dalam pemulihan lahan bekas tambang nikel. Keberagaman habitus tanaman, mulai dari pohon hingga liana dan herba, mencerminkan adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang mungkin berubah akibat aktivitas pertambangan. Jenis tanaman yang ada di wilayah eksplorasi menunjukkan keanekaragaman ekosistem yang dapat mendukung proses reklamasi.

Metode putaran dalam transplantasi tumbuhan lokal merujuk pada teknik

penanaman di mana tanaman lokal yang akan dipindahkan ditempatkan dalam alat berputar, memungkinkan akar tanaman untuk tumbuh merata dan mengembangkan diri sebelum ditanam kembali di area reklamasi (Iman dan Wibowo, 2015). Pengisian lubang tanah dengan *top soil* dapat menjadi langkah tambahan yang mendukung keberhasilan solusi fisik pembuatan lubang tanam dalam kegiatan reklamasi lahan bekas tambang nikel (Hamsah, 2012). Setelah lubang tanam dibuat, penggunaan *top soil* sebagai media penanaman memberikan tambahan nutrisi dan mikroorganisme yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Proses pengisian ini dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa *top soil* merata di sekitar akar tanaman, menciptakan kondisi yang optimal untuk pertumbuhan vegetasi.

Tabel 6. Jenis tumbuhan adaptif pada PT. Vale Indonesia Tbk. site Pomalaa

Nama Tanaman	Habitus
Cemara gunung	Pohon
Belimbing Bajo	Pohon
Kayu kolaka	Pohon
Ketimunan/Seranai	Pohon
Kimerak	Pohon
Resam	Herba
Kantong Semar	Liana
Karimunting	Perdu

Sumber: Tuheteru *et al.*, (2017)

Pencampuran *Top Soil* dengan Kompos pada Lahan Bekas Tambang Nikel

Sebelum melakukan penambangan nikel, langkah awal yang umumnya dilakukan

adalah pemindahan dan penyimpanan lapisan *top soil* tanah. Lapisan *top soil* ini memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan mempertahankan kesuburan tanah karena mengandung nutrisi dan mikroorganisme yang mendukung kehidupan tanaman. Ketika proses penambangan telah berakhir, lapisan *top soil* yang telah disimpan dapat dikembalikan ke lahan bekas tambang. Namun, pemulihan ekosistem memerlukan lebih dari sekadar pengembalian *top soil* (Mosyaftiani *et al.*, 2018). Pencampuran *top soil* dengan kompos adalah praktik umum dalam proyek reklamasi dan restorasi tanah. Proses mencampur *top soil* dengan kompos melibatkan penambahan lapisan kompos di atas permukaan tanah dan kemudian meratakan atau mencampurnya ke dalam tanah atas.

Pemberian pupuk kompos dan produk sejenisnya memiliki potensi untuk meningkatkan kesuburan tanah yang telah mengalami degradasi. Selain memenuhi kebutuhan tanaman akan unsur hara, ini juga berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan memperbaiki ekosistem mikroorganisme tanah, sekaligus meningkatkan produksi biomassa tanaman. Dengan kemampuannya memperbaiki struktur tanah, pupuk kompos juga dapat meningkatkan kapasitas retensi air tanah dan menggalakkan aktivitas mikroba di dalam tanah (Drakel *et al.*, 2021).

Reklamasi lahan bekas tambang nikel dengan menggunakan pupuk kompos berperan sebagai pengganti nutrisi yang telah hilang akibat kegiatan tambang. Pemberian kompos dapat meningkatkan kandungan unsur hara terutama nitrogen (N) dan fosfor (P), sementara kadar besi (Fe) yang bersifat toksik mengalami penurunan sekitar 3-5 kali lipat. Penggunaan kompos ini dapat diaplikasikan sebagai lapisan tanah bagian atas yang berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, dan mengatasi keterbatasan unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Dere *et al.*, 2012). Sebagai informasi tambahan, banyak penelitian menunjukkan bahwa bahan organik tanah memiliki peran penting dalam ekosistem tanah. Kekurangan bahan organik tanah dapat mengganggu banyak proses tanah dan menghambat pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik ke dalam tanah merupakan praktik terbaik dalam pertanian. Penambahan bahan organik dapat dilakukan dalam bentuk sisa tanaman, pupuk kandang, kompos, dan asam humat (Suwardi, 2019).

Aplikasi asam humat pada tanah yang mengalami degradasi seperti tanah bekas tambang, dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi di tanah dan pertumbuhan akar tanaman sehingga tanaman dapat menyerap lebih banyak nutrisi dari tanah (Suwardi, 2021). Selain bahan organik, bahan mineral zeolit dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah khususnya kapasitas tukar

kation, daya jerap terhadap ion amonium, dan daya pegang air. Penggunaan zeolit dapat dicampurkan dengan tanah *top soil* atau di lubang tanam, dicampurkan dengan pupuk, sebagai media tumbuh pembibitan, dan dicampurkan dengan kompos (Mulyanto dan Suwardi, 2006).

Pemanfaatan Super Absorbent Polymer (SAP) dalam Pemulihan Lahan Bekas Tambang Nikel

SAP adalah bahan hidrogel yang mampu menyerap air dalam jumlah yang sangat banyak dalam waktu yang singkat dan menjaga air terikat di dalamnya (Abidin *et al.*, 2018). Komposisi bahan hidrogel atau SAP dalam pempers mencakup butiran sodium polyacrylate ($C_3H_5NaO_2$) yang berasal dari minyak bumi (Khoo *et al.*, 2019). Sehingga, limbah SAP ini mampu menyerap air hingga mencapai antara 100 hingga 300 kali bobotnya (Sarifuddin *et al.*, 2021). Selain sifat SAP yang mampu mempertahankan kelembaban, limbah pempers juga memiliki keunggulan lain, yaitu mengandung urine. Satu gram SAP pada pempers mampu menyerap 20–40 ml urine (Dewanti *et al.*, 2019). Urine mengandung tiga unsur hara makro utama, terutama nitrogen, yang sangat berguna untuk pertumbuhan tanaman (Prasetyo *et al.*, 2021). Penelitian Al-Jabari *et al.*, (2019) juga menyatakan bahwa limbah pempers dapat diaplikasikan sebagai penyerap air dalam pertanian untuk meningkatkan

manajemen irigasi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Dalam konteks lahan bekas tambang nikel, di mana tanahnya sering kali mengalami kekurangan nutrisi dan memiliki daya serap air yang kurang, penggunaan limbah SAP sebagai bahan penyerap air yang juga mengandung unsur hara dapat menjadi solusi yang signifikan untuk meningkatkan kualitas tanah yang telah mengalami kerusakan. Dengan kemampuannya menyerap air secara efisien, SAP membantu menciptakan kondisi tanah yang lebih lembab, mendukung pertumbuhan tanaman, dan mengatasi tantangan kekeringan yang umumnya terjadi pada lahan bekas tambang. Rekomendasi ini diperoleh melalui interpretasi data perekonomian dan regulasi pemerintah serta data dari studi literatur dan penelitian terdahulu yang memberikan landasan yang kuat untuk pemahaman mendalam terkait penanganan lahan bekas tambang nikel. Dengan menggabungkan aspek fisik, kimia, dan biologi dalam pendekatan reklamasi, diharapkan bahwa lahan bekas tambang nikel dapat kembali menjadi ekosistem yang produktif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A., Zainal, G., Susanto, N.M.T., Sastra, Puspasari, T. 2018. Sintesis dan karakterisasi polimer superabsorban dari akrilamida. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 11(2), 84–100.
- Allo, M.K 2016. Kondisi sifat fisik dan kimia tanah pada bekas tambang nikel serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan Trengguli dan Mahoni, *Jurnal Hutan Tropis*, 4 (2), 207-217. <http://dx.doi.org/10.20527/jht.v4i2.3608>.
- Al-Jabari, M., Ghyadah, R.A., Alokely, R. 2019. Recovery of hydrogel from baby diaper wastes and its application for enhancing soil irrigation management. *Journal of Environmental Management*, 239, 255–61. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.087>.
- Arif, I. 2018. *Nikel Indonesia*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Associates, L. 1971. *Laterit and Lateritic Soils and Other Problem Soils of Africa: Development of Engineering Standards and Criteria for the Usage of Laterite, Lateritic Soils, and Other Problem Soils in Connection with the Construction of Roads, Highways, and Airfields*.
- Astuti, W., Zulhan, Z., Shofi, A., Isnugroho, K., Nurjaman, F., Prasetyo, E. 2012. Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) Dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace. Dalam Karmiadji, D.W., Notosudjono, D., Nurzal, E.R., Syafarudin, Djarot, I., Wicaksono, H., Sauf, A. Prosiding Seminar Insentif <https://doi.org/10.5614/jtki.2012.11.25>.

- Riset SINas (INSINas 2012) (hlm. 66-71). Kementerian Riset dan Teknologi.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2023. Buletin statistik perdagangan luar negeri ekspor menurut kelompok komoditi dan negara, Juli 2023. <https://www.bps.go.id/publication/2023/09/29/c988746de8f0b5c8328f0652/buletin-statistik-perdagangan-luar-negeri-ekspor-menurut-kelompok-komoditi-dan-negara-juli-2023.html>.
- Chaudhry, A.H., Nayab, S., Hussain, S.B., Ali, M., Pan, Z. 2021. Current understandings on magnesium deficiency and future outlooks for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1819. <https://doi.org/10.3390/ijms22041819>.
- Dere, A.L., Stehouwer, R.C., Aboukila, E., McDonald, K.E. 2012. Nutrient leaching and soil retention in mined land reclaimed with stabilized manure. *Journal of Environmental Quality*, 41(6), 2001–2008. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0036>.
- Dewanti, D.P., Ma'rufatin, A., Nugroho, R. 2019. Uji kapasitas absorpsi air oleh selulosa dari tandan sawit sebagai bahan Super Absorbent Polymer (SAP) pada popok sekali pakai. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(2), 99-106. <https://doi.org/10.29122/jrl.v12i2.4018>.
- Dipatunggoro, G. 2010. Pemetaan geologi nikel laterit daerah SP Unit 25 dan sekitarnya Kecamatan Toili Barat, Kabupaten Banggai, Propinsi Sulawesi Tengah. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 8(3), 166-172. <https://doi.org/10.24198/bsc>.
- Drakel, A., Arifin, H.S., Mansur, I., Sundawati, L. 2021. Analysis of soil fertility on revegetated land after nickel mining in Tanjung Buli, East Halmahera. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 14(1), 125–134. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.14.1.125-134>.
- Faiz, A.M., Prijono, S. 2021. Perbedaan kemampuan tanah dalam menahan air pada berbagai kelerengan lahan kopi di daerah Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 481–491. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.19>.
- Gairola, S.U., Bahuguna, R., Bhatt, S.S. 2023. Native plant species: A tool for restoration of mined lands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 1438–1448. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01181-y>.
- Hamsah, M. 2012. Rencana Reklamasi Dengan Penataan Lahan Pada Lahan Bekas Penambangan Tanah Liat di PT.

- Holcim Indonesia Tbk, Cilacap, Jawa Tengah. Tesis. UPN “Veteran” Yogyakarta: Yogyakarta.
- Hassanah, N.F. 2021. Kajian yuridis perjanjian perdagangan internasional terkait aturan pembatasan dan larangan ekspor oleh World Trade Organization (WTO) (Studi perjanjian antara Indonesia dan Uni Eropa). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Hukum*, 1(4), 1-12. <https://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimhum/article/view/925>.
- Hirfan, Hirfan. 2018. Strategi reklamasi lahan pasca tambang. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 1(1), 101–108. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v1i1.48.
- Iman, N., Wibowo, A. 2015. Metode putaran, transplantasi tumbuhan lokal untuk meningkatkan keberhasilan reklamasi. *Temu Profesi Antam, October 2015*. Bogor.
- Karamoy, T.L., Kumolontang, W., Rondonuwu, J. 2015. Pemberian kompos pada tanah bekas tambang dengan indikator tanaman sawi (*Brassica chinensis* L). *EUGENIA*, 21 (2). <https://doi.org/10.35791/eug.21.2.2015.9711>.
- Kementerian ESDM. 2022. Laporan kinerja Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Tahun Anggaran 2022. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-laporan-kinerja-kementerian-esdm-tahun-2022.pdf>.
- Kementerian ESDM. 2023. Minerba One Data Indonesia (MODI). Oktober 2023. <https://modi.esdm.go.id/filter?tahun=2022>.
- Kementerian Perindustrian. 2023. Kemenperin: hilirisasi nikel di Indonesia, Kemenperin buka suara. Agustus 2023. <https://kemenperin.go.id/artikel/24251/Hilirisasi-Nikel-di-Indonesia,-Kemenperin-Buka-Suara>.
- Khoo, S.C., Phang X.Y., Ng C.M, Lim K.L., Lam, S.S., Ma, N.L. 2019. Recent technologies for treatment and recycling of used disposable baby diapers. *Process Safety and Environmental Protection*, 123, 116–29. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.12.016>.
- Kurniadi, A., Rosana, M.F., Yuningsih, E.T., Pambudi, L. 2017. Karakteristik batuan asal pembentukan endapan nikel laterit di daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Geoscience Journal*, 1(2), 149–163. <https://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/14316>.
- Maghfiroh, C.N., Hartanti, D.A.S., Puspaningrum, Y., Zuhria, S.A., Khiftiyah, A.M., Chumaidi, M. 2022. Identifikasi karakteristik tanah

- pertanian di Desa Banjarsari Kecamatan Bandarkedungmulyo Kabupaten Jombang. *Exact Papers in Compilation (EPiC)*, 4(2), 551–556. <https://doi.org/10.32764/epic.v4i2.767>.
- Mosyafiani, A., Kaswanto, R.L., Arifin, H.S. 2018. Potensi tumbuhan liar di sempadan terbangun Sungai Ciliwung di Kota Bogor sebagai upaya restorasi ekosistem sungai. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v5i1.29781>.
- Mulyanto, B., Suwardi. 2006. Prospek zeolit sebagai bahan penjerap dalam remediasi lahan bekas tambang. *Seminar Nasional PKRLT Fakultas Pertanian UGM, Sabtu 11 Feb 2006*. Yogyakarta.
- Mustajab, R. 2022. Tambang nikel Indonesia Tersebar di tujuh provinsi pada 2022. <https://dataindonesia.id/energi-sda/detail/tambang-nikel-indonesia-tersebar-di-tujuh-provinsi-pada-2022> [4 Nov 2022.].
- Prasetyo, F.D., Triasti, R.D., Ayuningtyas, E. 2021. Pemanfaatan limbah popok bayi (diapers) sebagai media tanam. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 21(1), <https://doi.org/10.37412/jrl.v21i1.91>.
- Prastiyo, Y.B., Kaswanto, R.L. dan Arifin, H.S. 2020. Plants diversity of agroforestry system in Ciliwung Riparian Landscape, Bogor Municipality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012024>
- Rahadian, R., Hadi, M., Tarwotjo, U., Larasati, W., Husna, N.L. 2022. Kondisi tanah sebelum dan sesudah ditambang di area galian pasir dan batu Rowosari Semarang berdasarkan struktur komunitas mikroartropoda dan indeks QBS-ar. *NICHE Journal of Tropical Biology*, 4(2), 40–45. <https://doi.org/10.14710/niche.4.2.40-45>.
- Ramdani, N., Mustam, M., Harun, A.P., Azis, H., Setiawan, I.M.A. 2021. Peran Polimer Super Absorben pada popok bayi dalam mengontrol kelembapan tanah. *EduMatSains : Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*, 6(1), 91–100. <https://doi.org/10.33541/edumatsains.v6i1.2991>.
- Sarifuddin, Rauf, A., Dewantari, Y. 2021. The Application of hydrogel (Super Absorbent Polymer) and chicken manure fertilizer to increase pH, N-Total, C-Organic and soil water content in entisol. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782(4), 042024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/4/042024>.
- Shiddiq. 2023. Lonjakan nikel matte 300 persen dan perkembangan smelter

- Indonesia. <https://nikel.co.id/2023/08/21/lonjakan-nikel-matte-300-persen-dan-perkembangan-smelter-indonesia/> [21 Ags 2023].
- Subhan, E., Salampak, S., Embang, S.E., Masliani, M. 2019. Analisis tingkat kesuburan tanah lahan bekas penambangan batubara PT. Senamas Energindo Mineral Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 4(2), 34–40. <https://doi.org/10.33084/mitl.v4i2.1025>.
- Suwardi. 2019. Utilization and improvement of marginal soils for agricultural development in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 383(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/383/1/012047>.
- Suwardi. 2021. The role of humic substances to improve degraded soils for increasing crops production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 694(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/694/1/012005>.
- 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* ,4 (2): 89-96. <https://doi.org/10.20886/jwas.v4i2.2855>.
- [USGS] U.S. Geological Survey. 2023. *Mineral Commodity Summaries | Nickel Statistics and Information*. Amerika: U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-nickel.pdf>.
- 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*, 12(2), 1–10. <https://doi.org/10.29244/jitl.12.2.1-10>.