

TEKNOLOGI REKLAMASI LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH MELALUI PEMBERIAN BAHAN AMELIORAN DAN PEMILIHAN JENIS TANAMAN: STUDI KASUS KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

*Technology For Reclaiming Post-Mining Tin Lands Through The Application Of
Soil Ameliorant And Plant Selection: A Case Study Of The Bangka Belitung
Islands*

Suwardi^{1,2*}, Octaviana Randrikasari²

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Dramaga, Bogor 16680

²Pusat Studi Reklamasi Tambang, Lembaga Riset Internasional Lingkungan dan Perubahan Iklim,
IPB, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor 16143

*Korespondensi: suwardi-soil@apps.ipb.ac.id

Received 17 April 2024, Revised 15 Mei 2024; Accepted 04 Juni 2024

Abstract

Indonesia, besides being the country with the largest nickel reserves in the world, also holds the largest tin reserves globally in 2023. Meanwhile, in terms of production, Indonesia ranks second after China. Tin mining in Indonesia has led to serious environmental damage, illustrated by the numerous open pits and inadequately restored tin mining sites. The characteristics of soil in these post-mining lands generally include sandy texture, low pH, nutrient deficiencies, low organic carbon content, and low water holding capacity. This study aims to improve the soil chemical properties in post-mining lands by utilizing the KOMFABA technology, which consists of a mixture of compost and fly ash-bottom ash with appropriate dosages tailored to the type of crops to be planted, along with revegetation strategies involving suitable plant selections. The research methodology consists of field experiments to test the application of KOMFABA with various dosages and crop types, as well as a literature review to identify suitable revegetation strategies. The research result show that Indonesia holds tin reserves of 800,000 tons, making it the largest in the world, with a production of 74,000 tons, placing it second after China. Additionally, the results of KOMFABA testing demonstrate its effectiveness in improving soil chemical properties such as soil pH, organic carbon content, cation exchange capacity (CEC), nutrient content, and soil base saturation. The success of reclaiming post-mining lands also dependent on proper fertilization dosages and suitable plants selection.

Keywords: soil ameliorants, KOMFABA, post-mining lands, land reclamation, tin



PENDAHULUAN

Indonesia memiliki cadangan kasiterit berlimpah yang banyak ditemukan pada dataran dan sepanjang aliran di kepulauan Bangka, Belitung, Singkep, dan Kundur. Kasiterit merupakan mineral utama penghasil logam timah. Kasiterit Indonesia memiliki karakteristik yang cukup kompleks dibandingkan kasiterit di negara sekitarnya seperti China, Brazil, Bolivia, Rusia, Peru, Malaysia, Australia, dan Thailand. Data komposisi kimia kasiterit Indonesia sebelumnya mencatat kandungan sebagai berikut: 0,45% Si, 0,63% Ca, 1,45% Ti, 1,16% Fe, 57,82% Sn, 3,43% La, 0,63% Ce. Hal ini menunjukkan potensi besar kasiterit Indonesia sebagai bahan baku pembuatan senyawa kimia timah (*tin chemical*) (Suharyanto, 2016).

Daerah di Indonesia yang menghasilkan timah adalah Kepulauan Bangka Belitung, yang merupakan daerah yang dilalui Jalur Sabuk Timah Asia Tenggara (Hutabarat *et al.*, 2023) sehingga menjadi bagian dari Jalur Mineralisasi Logam di Indonesia bagian barat serta sebagai penghasil timah (Sn) terbesar di Indonesia (Ramdan & Apriyanti, 2021). Sabuk Timah Asia Tenggara merupakan salah satu wilayah paling produktif dalam produksi timah di dunia (Ng *et al.*, 2017). Data dari Minerba One Data Indonesia (MODI) menunjukkan bahwa produksi logam timah di Indonesia pada tahun 2022 sebesar 56.092,87 ton atau 80,13% dan penjualan mencapai 24.335,38 ton (Kementerian ESDM, 2022). Dengan demikian, potensi timah di Indonesia cukup besar, namun belum dimanfaatkan secara maksimal.

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, sebagai penghasil timah terbesar, menghadapi tantangan signifikan setelah dikeluarkannya Perda No. 6 tahun 2011 tentang pengelolaan pertambangan umum. Peningkatan jumlah "kolong" eks tambang sebagai akibat dari kegiatan pertambangan secara besar-besaran telah menyebabkan kerusakan lahan yang signifikan akibat tidak dilakukan kegiatan penimbunan kembali pada lahan tersebut (D. P. Sari & Buchori, 2015). Oleh karena itu, meskipun potensi timah di Bangka Belitung menjadi salah satu penghasil devisa yang besar bagi negara, kegiatan penambangan timah yang sebagian besar dilakukan tanpa izin atau ilegal di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung menjadi penyebab utama munculnya berbagai kerusakan lingkungan (Aisyah *et al.*, 2019).

Beberapa studi menunjukkan bahwa kegiatan penambangan timah dapat menyebabkan kerusakan lingkungan biotik, abiotik, dan sosial budaya. Pencemaran lingkungan yang biasa terjadi di lahan pasca tambang seperti, menurunnya kualitas tanah, rusaknya ekosistem, rusaknya bentang alam, munculnya lubang-lubang atau kolong-kolong bekas tambang, dan lain-lain (Putri *et al.*, 2023). Di samping itu, tantangan lain yang berkaitan dengan karakteristik fisik dan kimia di wilayah lahan bekas tambang timah adalah tingkat porositas yang sangat tinggi, struktur tekstur tanah yang kasar dengan dominasi pasir, dengan kapasitas menahan air yang rendah, dan kapasitas tukar kation yang tergolong sangat rendah, pH tanah cenderung sangat masam, sementara kadar C-organik, unsur hara dan kejenuhan basa menunjukkan tingkat yang sangat rendah (Hamid *et al.*, 2017).

PT Timah Tbk mengacu pada dokumen reklamasi yang dilakukan selama kegiatan usaha pertambangan untuk menata, memulihkan, dan memperbaiki kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai dengan peruntukannya (Permen ESDM No. 26 Tahun 2018) 1. Perseroan melakukan reklamasi sebagai bentuk kepatuhan terhadap peraturan Kepmen ESDM No. 1827K/30/MEM tahun 2018 Lamp. VI tentang Pedoman Pelaksanaan Reklamasi dan Pascatambang serta Pascaoperasi pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.

Kesulitan utama terkait dengan pertambangan timah adalah rendahnya keberhasilan dalam upaya reklamasi lahan bekas tambang. Hasil studi yang dilakukan oleh (Haryadi *et al.*, 2018), hasil reklamasi yang dilaksanakan oleh PT Timah Tbk menunjukkan kenyataan yang berbeda dengan rencana awal. Setiap tahunnya, tidak satu pun dari target yang ditetapkan berhasil dicapai, termasuk belum ada proyek reklamasi yang mencapai tingkat 50%, dengan pencapaian maksimal hanya mencapai 25%. Selain itu,

hasil reklamasi pada beberapa titik menunjukkan lahan yang masih tandus dan tanaman yang belum tumbuh sebagaimana diharapkan.

Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tidak dapat menghindari potensi dampak lingkungan yang timbul akibat hasil pembakaran batubara, yang secara umum dikenal sebagai *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). Istilah yang digunakan untuk menggambarkan kedua limbah tersebut adalah FABA (Nugraha et al., 2021). Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan, pengelolaan FABA sebagai limbah B3 dan limbah non-B3 memiliki kewajiban untuk dikelola hingga memenuhi standar dan persyaratan teknis yang ditetapkan. FABA dapat dimanfaatkan sebagai bahan reklamasi tambang (Ferdian et al., 2023; PPID, 2023).

Pemanfaatan FABA sebagai bahan reklamasi tambang telah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir. FABA adalah limbah dari proses pembangkitan listrik dari batubara dan digunakan sebagai bahan pencampur tanah pucuk untuk meningkatkan jumlah dan kualitas tanah pucuk (Sriningsih, 2022). Selain itu, studi yang dilakukan (Imanudin et al., 2022) menunjukkan bahwa FABA yang dicampur dengan bahan organik memiliki daya kuat tekan yang baik hingga 300 psi dan daya serap yang kuat. Hal ini memungkinkan lahan kandungan dari FABA dapat digunakan sebagai media tanam untuk beberapa tumbuhan dilokasi bekas tambang (Ferdian et al., 2023).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa Indonesia memiliki potensi timah yang melimpah, namun, tata kelola sektornya dinilai belum optimal. Sektor timah memberikan dampak yang besar terhadap ekonomi, lingkungan, konflik sosial, kepatuhan regulasi, dan kompleksitas perizinan tambang. Penelitian ini fokus pada permasalahan lahan bekas tambang timah yang kurang subur. Tanah berpasir, pH rendah, kurangnya unsur hara, dan daya jerap air rendah mengakibatkan produktivitas tanah rendah sehingga merugikan pertanian dan ekosistem lokal. Perbaikan lingkungan melalui teknologi reklamasi, menjadi kunci untuk menjaga keseimbangan antara produksi dan tanggung jawab lingkungan (Hidayatulloh, 2015).

Perbaikan sifat tanah merupakan langkah utama dalam reklamasi lahan bekas tambang timah. Salah satu teknologi reklamasi yang efektif adalah penggunaan KOMFABA, yang merupakan kombinasi antara kompos dan FABA. Kompos merupakan bahan organik yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan daya jerap air tanah. Sementara itu, FABA dapat memperbaiki struktur tanah dan mengurangi tingkat porositas tanah yang tinggi. Pemupukan perlu dilakukan dengan memperhatikan dosis yang tepat dan sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Penelitian mengenai kebutuhan unsur hara tanaman, ketersediaan unsur hara di tanah, dan karakteristik lingkungan setempat berperan dalam menentukan dosis pemupukan yang optimal. Pemupukan yang tepat dapat meningkatkan produktivitas tanaman, mempercepat proses regenerasi tanah, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Implementasi kedua kebijakan ini sebaiknya melibatkan kerjasama antara pemerintah, industri pertambangan, dan pakar-pakar ilmu tanah. Diperlukan pula pemantauan dan evaluasi berkala untuk memastikan efektivitas kebijakan serta adopsi teknologi yang berkelanjutan di lahan bekas tambang timah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi reklamasi lahan bekas tambang timah dengan memanfaatkan campuran kompos dan FABA (KOMFABA) dengan dosis yang tepat dan sesuai dengan jenis tanaman, serta memberikan strategi revegetasi dengan pemilihan jenis tanaman yang sesuai.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan kualitatif dengan penggunaan data sekunder dari berbagai sumber untuk menganalisis fenomena penambangan timah, untuk

mengeksplorasi dan menganalisis aspek-aspek terkait penambangan timah. Metode deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi penambangan timah berdasarkan data yang tersedia. Selain penggunaan data sekunder, penelitian ini juga melibatkan pengumpulan data primer melalui pengujian efektivitas teknologi reklamasi menggunakan KOMFABA. Penelitian ini dilakukan di Kebun Pendidikan Cikabayan, Institut Pertanian Bogor. Data primer ini penting untuk mengevaluasi pengaruh langsung dari teknologi yang diusulkan terhadap proses reklamasi lahan pasca-tambang.

Studi Literatur

Penelitian ini melibatkan analisis mendalam dari literatur ilmiah yang berkaitan dengan penambangan timah, reklamasi tambang, dan isu-isu lingkungan yang terkait. Tinjauan pustaka dilakukan untuk mendapatkan wawasan tambahan dan mendukung dasar teoritis penelitian. Sumber literatur meliputi artikel ilmiah, buku akademis, laporan riset, dan publikasi resmi terkait industri pertambangan dan lingkungan. Temuan dari studi literatur diintegrasikan dalam analisis data untuk memberikan landasan teoritis yang kuat untuk mendukung penelitian ini.

Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui pengujian efektivitas teknologi reklamasi dengan menggunakan KOMFABA, yang dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan. Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Pendidikan Cikabayan, Institut Pertanian Bogor. Bahan pembenah tanah dibuat dari campuran kompos dan FABA yang telah disaring dengan ayakan berukuran 5 mm, kemudian dicampur secara merata. Adapun perbandingan antara kompos dan FABA adalah 75:25 (K1), 50:50 (K2), dan 25:75 (K3), dengan dua dosis yang berbeda yaitu D1 (75 ton/ha) dan D2 (150 ton/ha). Mikoriza juga ditambahkan dalam dua taraf dosis yaitu M1 (5 g/4 kg media) dan M2 (2,5 g/4 kg media). Dengan demikian, data primer yang diperoleh memberikan informasi yang spesifik tentang efektivitas teknologi reklamasi menggunakan pemanfaatan KOMFABA dalam kondisi lapangan yang sesungguhnya.

Selain itu, dilakukan juga analisis sifat-sifat kimia dari KomFABA untuk mengetahui efektivitasnya dalam meningkatkan sifat kimia tanah yang meliputi pH tanah, kandungan C-organik, KTK, kandungan unsur hara, dan basa-basa tanah. Analisis ini membantu dalam mengevaluasi sejauh mana teknologi KOMFABA dapat memberikan kontribusi positif terhadap perbaikan sifat kimia tanah pada lahan reklamasi bekas tambang timah.

Tabel 1 Komposisi campuran dan dosis KOMFABA dalam pengujian

No	Perlakuan	Komposisi Campuran		Dosis KOMFABA (g/pot)	Mikoriza (g/4 kg)
		Kompos	FABA		
1	K1D1M1	75	25	1250	5
2	K1D2M1	75	25	2500	5
3	K1D1M2	75	25	1250	2,5
4	K1D2M2	75	25	2500	2,5
5	K2D1M1	50	50	1250	5
6	K2D2M1	50	50	2500	5
7	K2D1M2	50	50	1250	2,5
8	K2D2M2	50	50	2500	2,5
9	K3D1M1	25	75	1250	5
10	K3D2M1	25	75	2500	5
11	K3D1M2	25	75	1250	2,5
12	K3D2M2	25	75	2500	2,5

Sumber: (Budiman, 2022a)

Data sekunder mengenai produksi, harga jual, cadangan, dan kebijakan terkait penambangan timah di Indonesia diperoleh dari berbagai sumber seperti *website* Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM), Badan Pusat Statistik (BPS), dan dokumen dari *United States Geological Survey* (USGS). Data ini kemudian disarikan dan dibahas dalam penelitian ini. Selain itu, data dari laporan tahunan PT Timah Tbk juga digunakan untuk menganalisis situasi penambangan timah di tingkat nasional selama beberapa tahun terakhir. Hasil-hasil penelitian sebelumnya dan data dari situs pertambangan juga digunakan untuk memprediksi kondisi dan keberhasilan reklamasi dari masa lalu hingga masa mendatang.

Pengalaman Peneliti dalam Kegiatan Penelitian dan Pengabdian di Pusat Studi Reklamasi Tambang (REKLATAM)

Peneliti menggabungkan pengalaman di Pusat Studi Reklamasi Tambang sebagai sumber pengetahuan dan wawasan tambahan. Keterlibatan ini mencakup serangkaian kegiatan, termasuk penelitian-penelitian, kerja sama dengan mitra, kegiatan pengabdian masyarakat, observasi lapangan, dan pemahaman langsung tentang berbagai upaya reklamasi tambang.

Adapun kegiatan Penelitian dan Pengabdian yang telah dilaksanakan, diantaranya:

1. Studi Pemantauan dan Keberhasilan Reklamasi di Lahan Revegetasi PT. Meares Sopotan Mining dan PT. Tambang Tondano Nusajaya Minahasa Utara 2020.
2. Studi Prediksi Kondisi Biofisik Lingkungan Tahun 2020
3. Pengkajian Kedalaman Solum PT. Berau Coal
4. Pemantauan dan Evaluasi Reklamasi Tahun 2021
5. Kajian Fly Ash-Bottom Ash (FABA) Melalui Percobaan Rumah Kaca di Institut Pertanian Bogor
6. Pemantauan Lingkungan (Mikroklimat, Kesuburan Tanah, Potensi Erosi, Flora dan Fauna) di Area Revegetasi PT. Berau Coal Tahun 2021
7. Online Course Teknologi Revegetasi pada Lahan Pascatambang 2023
8. Online Course Teknik Pembibitan Tanaman Hutan untuk Rehabilitasi Lahan Pasca Tambang 2023.

Selain itu, hasil-hasil dari pengalaman tersebut, beberapa diantaranya diintegrasikan dan/atau dipresentasikan dalam sebuah artikel ilmiah seperti:

1. Pemanfaatan Bahan Amelioran Abu Terbang pada Lingkungan Tanah Gambut: (I) Pelepasan Hara Makro. Iskandar, Suwardi, E.F.R. Ramadina. 2008. Dipublikasikan dalam Jurnal Tanah Indonesia, Vol. 1 No. 1.
2. Meningkatkan Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang. Iskandar, Suwardi. 2009. dalam Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya, 21-22 Oktober 2009 di Palembang.
3. Pemanfaatan Bahan Humat dan Abu Terbang untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang. Surya Herdjuna, Suwardi, Sri Djuniwati. 2011. dalam Prosiding Seminar Teknologi Reklamasi Tambang untuk Mendukung Green Mining. 10-13 Oktober 2011.
4. Sintesis Zeolit dari Bahan Dasar Abu Terbang Sebagai Adsorben Logam Berat Cu (II). Handoko RB, Suwardi, U Sudadi. 2015. dalam Prosiding Seminar Nasional HITI 2015. 445-452.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi dan Cadangan Timah di Indonesia

Secara global, Indonesia menempati peringkat kedua setelah Cina sebagai negara paling banyak menghasilkan timah. Produksi timah Indonesia pada tahun 2022 mencapai 74.000 ton, mengalami kenaikan sekitar 5,71% dari tahun sebelumnya yang mencatat 70.000 ton (Tabel 2). Meskipun Indonesia

memiliki produksi timah yang tinggi, masih terdapat sejumlah tantangan dalam mengoptimalkan nilai tambah dari sumber daya ini melalui hilirisasi. Pengembangan ekosistem industri pelanggan akhir menjadi salah satu tantangan utama yang dihadapi. Selain itu, penerapan teknologi yang lebih canggih, kebutuhan akan tenaga kerja yang terampil, dan dukungan finansial yang memadai juga menjadi faktor kunci dalam menghadapi tantangan ini. Sehubungan dengan cadangan timah dunia, China berada di bawah Indonesia yang mencatatkan cadangan timah sebanyak 800.000 ton, sementara China memiliki cadangan sekitar 720.000 ton mengalami penurunan dari tahun 2022 sebanyak 1.100.000 ton (USGS, 2023).

Perbandingan antara produksi dan cadangan timah Indonesia dengan China menjadi penting untuk memahami dinamika pasar global. Meskipun China masih menjadi produsen terbesar, Indonesia memiliki keunggulan dalam hal cadangan yang dapat menjadi faktor strategis dalam persaingan pasar internasional. Dengan demikian, sementara Indonesia terus meningkatkan produksi timahnya, tantangan hilirisasi dan potensi cadangan yang besar menjadi fokus utama dalam mengembangkan industri timah nasional secara berkelanjutan.

Tabel 2 Negara penghasil timah di dunia

Provinsi	Produksi (ton)		Cadangan (ton)
	2021	2022	2023
Amerika Serikat	-	-	-
Australia	8.772	9.700	570.000
Bolivia	19.628	18.000	400.000
Brazil	15.517	18.000	420.000
Burma	36.900	31.000	700.000
Cina	90.000	95.000	720.000
Kongo	16.700	20.000	130.000
Indonesia	70.000	74.000	800.000
Laos	1.980	1.900	NA
Malaysia	5.000	5.000	NA
Nigeria	1.600	1.700	NA
Peru	26.995	29.000	130.000
Rusia	3.000	2.700	430.000
Rwanda	2.000	2.200	NA
Vietnam	5.400	5.200	11.000
Negara lain	1.180	1.100	310.000
Total	305.000	310.000	4.600.000

Sumber: (USGS, 2023)

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dikenal sebagai daerah yang memiliki cadangan timah terbesar dan merupakan penghasil utama timah di Indonesia. Berdasarkan data Peluang Investasi Timah Indonesia 2020, sumber daya bijih timah terbesar ada di Bangka Belitung yakni mencapai 9,97 miliar ton dan cadangan bijih timah sebesar 2,01 miliar ton (Asmarini, 2022). PT. Timah Tbk. memiliki Izin Usaha Pertambangan (IUP) untuk melakukan Operasi Produksi Mineral Logam Komoditas Timah di wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang mencapai luas 428.301 ha (PT Timah Tbk, 2022). Salah satu tambang timah yang dimiliki oleh PT. Timah Tbk adalah tambang besar di Kecamatan Pemali, Kabupaten Bangka, Provinsi Bangka Belitung. Metode penambangan yang digunakan oleh perusahaan adalah penambangan *open pit*. Sampai saat ini, upaya PT. Timah Tbk dalam melakukan reklamasi lahan tambang, melalui kolam pengendapan, menunjukkan komitmen perusahaan dalam menjaga kualitas lingkungan setelah penambangan selesai. Dalam proses reklamasi lahan tambang,

kolam pengendapan digunakan untuk mengendapkan tailing sisa hasil dari pengolahan timah, sehingga ketika penambangan berakhir, maka daerah tersebut akan meninggalkan cekungan-cekungan yang harus segera direklamasi (Siregar, 2017).

Data dari Tabel 3 menggambarkan angka produksi dan penjualan timah oleh PT Timah Tbk untuk tahun 2021 dan 2022. Perubahan dan tren yang signifikan meliputi penurunan yang cukup besar dalam produksi bijih timah (dari 24.670 ton pada tahun 2021 menjadi 20.079 ton pada tahun 2022) dan logam timah (dari 26.465 m³ ton pada tahun 2021 menjadi 19.825 m³ ton pada tahun 2022). Produksi *tin chemical* dan *tin solder* juga mengalami penurunan. Dari sisi penjualan, terjadi penurunan dalam penjualan logam timah (dari 26.602 m³ ton pada tahun 2021 menjadi 20.805 m³ ton pada tahun 2022), *tin chemical* (dari 7.386 ton pada tahun 2021 menjadi 6.880 ton pada tahun 2022), dan *tin solder* (dari 604 ton pada tahun 2021 menjadi 568 ton pada tahun 2022). Penurunan baik dalam produksi maupun penjualan berbagai produk timah menunjukkan adanya tantangan bagi PT Timah Tbk. Perusahaan perlu menyelidiki faktor-faktor yang berpengaruh pada penurunan ini, seperti perubahan dalam permintaan pasar, proses produksi, atau kondisi ekonomi eksternal. Memahami faktor-faktor ini akan menjadi krusial untuk mengembangkan rencana strategis guna mengatasi tantangan saat ini dan memastikan keberlanjutan bisnis di masa depan.

Tabel 3 Data produksi atau penjualan timah oleh PT Timah Tbk

Uraian	Tahun	
	2021	2022
Produksi		
Bijih Timah (ton)	24.670	20.079
Logam Timah (m ³ ton)	26.465	19.825
<i>Tin Chemical</i> (ton)	7.080	6.216
<i>Tin Solder</i> (ton)	576	541
Penjualan		
Logam Timah (m ³ ton)	26.602	20.805
<i>Tin Chemical</i> (ton)	7.386	6.880
<i>Tin Solder</i> (ton)	604	568

Sumber: (PT Timah Tbk, 2021)

Tantangan dan Dampak Lingkungan

Berdasarkan Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (IKPLHD) tahun 2022, jumlah kolong yang tersebar di semua wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, sebanyak 12.327 kolong dengan total luas 15.579 ha. Pertambangan timah rakyat dapat menyebabkan peningkatan jumlah kolong bekas tambang dan berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk merambah ke wilayah hutan lindung dan daerah aliran sungai, yang dapat mempengaruhi jumlah kolong bekas tambang (Hs, 2017).

Meskipun upaya reklamasi terus dilakukan, sepanjang 2021–2022, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi) Kepulauan Bangka Belitung melaporkan ada 17 kasus yang tenggelam di kolong, 11 korban meninggal dunia, 8 diantaranya merupakan anak-anak hingga remaja dengan rentang usia 7–20 tahun. Dampak lainnya pada kolong tempat penambangan tersebut yang terkontaminasi jenis logam berat antara lain Fe, Pb dan As sudah melebihi ambang batas normal yaitu lebih dari 4 ppm yang berbahaya bagi kesehatan (Pirwanda & Pirngadie, 2015).

Tabel 4 Sebaran jumlah dan luas kolong tambang timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

Kabupaten	Jumlah	Luas (ha)
Bangka Barat	4.036	1.873
Bangka	3.360	2.473
Pangkalpinang	38	83
Bangka Tengah	1.731	2.535
Bangka Selatan	823	1.152
Belitung	1.193	2.275
Belitung Timur	1.146	5.188
Total	12.327	15.579

Sumber: (Mongabay, 2022)

Hasil analisis fisik dan kimia dari lahan bekas tambang didominasi oleh tekstur berpasir dengan karakteristik sifat kimia pH rendah, kandungan C, N, dan P sangat rendah serta basa-basa Ca, Mg, K dan Na sangat rendah (Tabel 5). Tanah berpasir mengindikasikan porositas yang tinggi dan retensi air yang rendah, yang dapat menjadi hambatan bagi pertumbuhan tanaman. Hal ini menyebabkan tanah menjadi tidak ideal untuk pertumbuhan tanaman. Sehingga diperlukan upaya reklamasi yang tepat pada tanah pasca tambang timah untuk memperbaiki kualitas sifat fisik dan kimia tanah agar dapat berfungsi sebagai media tumbuh tanaman (Pramaditya, 2023).

Tabel 5 Sifat-sifat tanah lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka dan Belitung

Parameter	Nilai
Tekstur	Liat berpasir - Lempung liat berpasir
- Pasir (%)	61,3
- Debu (%)	10,5
- Liat (%)	28,2
Struktur	Gumpal
Konsistensi	Teguh-Gembur
pH	4,0
C-organik	1,85
P ₂ O ₅ total	8,6
K ₂ O total	5,0
Basa-basa (cmol 100 g ⁻¹)	0,60
KTK (cmol 100g ⁻¹)	6,95
KB (%)	10

Sumber: (Sukarman & Gani, 2017).

Kegagalan dalam melakukan reklamasi lahan bekas tambang timah di Bangka Belitung telah menyebabkan munculnya masalah terkait dengan kondisi lahan. Lubang-lubang bekas galian tambang timah dibiarkan terbuka begitu saja pasca penambangan tanpa adanya upaya reklamasi atau pemanfaatan kembali. Hal ini menjadi penyebab utama terjadinya lahan kritis di wilayah tersebut (Asmarhansyah & Hasan, 2020). Faktor penyebab lahan kritis akibat gagalnya proses reklamasi, salah satunya pengendapan yang tidak tepat di kolam pengendapan, yang mengakibatkan material-material yang mengganggu terendapkan dan terkonsentrasi di area tersebut. Selain itu, penggunaan tanah yang tidak memperhatikan syarat-syarat konservasi tanah dan air yang mengakibatkan lahan mengalami kerusakan dan kehilangan kesuburan.

Berdasarkan data dari Tabel 6 di Kepulauan Bangka Belitung hanya terdapat lahan seluas 41.122,76 ha atau hanya 2% yang benar-benar merupakan lahan tidak kritis. Sisanya, 987.739,14 ha atau 59% lahan di Kepulauan Bangka Belitung merupakan lahan agak kritis, 426.626,97 ha atau 26%

merupakan lahan potensial kritis, 155.389,06 ha atau 9% merupakan lahan kritis, dan 60.719,60 ha atau 4% merupakan lahan yang sangat kritis.

Tabel 6 Tingkat kekritisan lahan di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Tahun 2016

Kabupaten/Kota	Luas (ha)					Total Luas (ha)
	Agak kritis	Kritis	Potensial Kritis	Sangat Kritis	Tidak Kritis	
Bangka Barat	8.000,87	670,51	0	0,07	5.146,35	13.817,79
Bangka	145.987,40	20.364,07	116.167,81	13.258,13	2.920,94	298.698,35
Pangkalpinang	187.099,07	48.074,88	9.950,62	7.337,40	7.712,85	260.174,81
Bangka Tengah	117.701,42	22.193	62.843,68	13.709,13	2.512,29	218.959,52
Bangka Selatan	83.215,89	13.653,90	171.186,48	10.562,76	8.665,95	287.284,98
Belitung	283.004,75	18.788,37	50.305,171	10.695,31	3.509,75	366.303,36
Belitung Timur	162.729,74	31.644,33	16.173,22	5.156,80	10.654,62	226.358,71
Total	987.739,14	155.389,06	426.626,97	60.719,60	41.122,76	1.671.597,52

Sumber: (Dinas Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 2017)

Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar lahan di Pulau Bangka dan Belitung memiliki potensi menjadi lahan kritis, yang memerlukan perhatian dan pengelolaan yang tepat untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan daya dukung lahan. Pemanfaatan lahan bekas tambang timah sebagai areal pertanian menghadapi kendala biofisik lahan, seperti komposisi fraksi pasir, struktur tanah, dan bobot isi tanah. Terdapat penurunan bobot isi tanah dan peningkatan kadar liat pada tekstur tanah, serta kadar C-organik yang masih sangat rendah, sehingga memerlukan pemeliharaan secara rutin untuk memperbaiki kondisi tanah (Hamid et al., 2017).

Upaya reklamasi lahan melalui pemberian amelioran dan revegetasi dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah di lahan bekas tambang timah. Selain itu, pengolahan tanah dan pemupukan dengan dosis tepat juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kesuburan tanah (Hermawan, 2011). Dalam konteks ini, alternatif solusi yang diusulkan melibatkan penerapan teknologi reklamasi lahan bekas tambang dengan memanfaatkan KOMFABA dan penerapan pemupukan dengan dosis yang tepat dan sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam.

Pemanfaatan KOMFABA

Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menetapkan abu batubara (FABA) tidak lagi dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya beracun (B3). Hal ini terlihat dari lampiran XIV peraturan tersebut yang menetapkan abu batubara sebagai limbah non B3 terdaftar. Pengelolaan yang tepat perlu dilakukan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan, salah satunya dengan memanfaatkan limbah batubara sebagai bahan pembenah tanah. Dalam proses pemanfaatan limbah batubara berupa FABA ini, perlu diketahui dosis yang tepat dalam penggunaannya agar dapat diperoleh hasil yang optimal. Sumber FABA salah satunya didapatkan dari abu sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) (PP No. 22 Tahun, 2021).

FABA mengandung unsur hara makro seperti Ca, Mg, K, dan unsur hara mikro seperti Fe, Zn, B, Mn, dan Cu dalam jumlah sedang (Wardhani et al., 2012). FABA berpotensi memperbaiki kondisi tanah ber-pH masam karena sifatnya yang alkalin (T. Oktavia, 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian (Iskandar et al., 2008) pemanfaatan FABA sebagai bahan amelioran umumnya banyak dilakukan pada tanah-tanah mineral untuk meningkatkan pH tanah.

Pemanfaatan FABA dapat dikombinasikan dengan bahan organik, salah satunya kompos untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Peningkatan teknologi pengolahan lahan menggunakan kompos sangat penting dalam reklamasi lahan bekas tambang timah. Pemanfaatan FABA dan bahan organik

berupa kompos yang kemudian disebut KOMFABA ini dapat diaplikasikan pada tanah yang mengalami penurunan kualitas akibat aktivitas pertambangan timah.

Hasil analisis pada Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai pH termasuk dalam kategori agak alkalis hingga alkalis. Nilai pH meningkat seiring dengan peningkatan kuantitas FABA dalam campuran, yang disebabkan oleh adanya Ca, Na, Mg, dan logam lainnya yang terkandung dalam FABA. Kadar C-organik dan P-total menurun seiring dengan peningkatan kuantitas FABA dalam campuran.

Tabel 7 Karakteristik sifat kimia KOMFABA

Parameter	Satuan	K1 (75:25)	K2 (50:50)	K3 (25:75)
pH		8,33	8,66	9,02
C-organik	%	7,88	3,77	1,64
N-total	%	0,02	0,07	0,02
KTK		26,3	11,25	6,96
Basa-basa:				
Ca-dd	cmol (+) kg ⁻¹	21,35	33,84	43,36
Mg-dd		4,71	4,45	3,91
K-dd		2,60	0,62	0,32
Na-dd		0,72	0,44	0,27
P-total	%	1,65	1,11	0,66

Sumber: (Maisa, 2021)

Tabel 7 menunjukkan bahwa pengaplikasian kompos diperkaya FABA dapat meningkatkan C-organik, KTK, P-tersedia, dan basa basa tanah seperti Ca, Mg, Na, dan K. Selain itu, perlakuan KOMFABA juga dapat meningkatkan kandungan N total dan kandungan unsur mikro seperti Cu, Zn, Mn pada tanah (Budiman, 2022b). Aplikasi FABA diindikasikan dapat memperbaiki sifat tanah dan meningkatkan hasil pertanian. Meskipun demikian, penerapan FABA dalam sektor pertanian tetap perlu dilakukan dengan perhitungan yang cermat (Muh. Alief, 2022).

Pemupukan dengan Dosis yang Tepat dan Sesuai Jenis Tanaman

Pemupukan dengan dosis yang tepat dan sesuai dengan jenis tanaman sangat penting untuk reklamasi lahan bekas tambang. Dosis pupuk yang tepat dan sesuai dengan kondisi lahan akan mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman, serta kemampuan lahan untuk menghadapi erosi dan dekomposisi (Narendra, 2006). Oleh karena itu, pemupukan yang tepat menjadi sangat penting untuk memulihkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan vegetasi yang sukses. Dosis pupuk harus disesuaikan dengan kebutuhan setiap jenis tanaman yang akan ditanam, mengingat setiap tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda. Dosis yang tepat sangat dibutuhkan untuk hasil yang optimal. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan serangkaian uji coba penggunaan berbagai dosis pupuk pada tanaman tertentu. Melalui uji coba ini, dapat diamati bagaimana respons tanaman terhadap dosis pupuk yang berbeda-beda.

Analisis terhadap pertumbuhan tanaman jagung dan tomat dalam percobaan menunjukkan pengaruh yang berbeda dari perlakuan KOMFABA tergantung pada jenis tanaman dan dosisnya. Untuk tanaman jagung, percobaan menunjukkan bahwa perlakuan KOMFABA dengan perbandingan 75:25 sebanyak 2500 g/pot atau 150 ton/ha memberikan hasil yang positif dalam meningkatkan tinggi tanaman dan bobot basah tajuk tanaman (Tabel 8). Sementara itu, pada tanaman tomat, perlakuan KOMFABA dengan perbandingan yang sama, namun dengan dosis yang lebih rendah yaitu 75 ton/ha lah yang memberikan pengaruh terbaik terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering tajuk serta akar tanaman tomat (Tabel 9).

Tabel 8 Pengaruh Komposisi Campuran dan Dosis KOMFABA terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung

No	Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Berat Basah Tajuk (g)	Berat Basah Akar (g)	Berat Kering Tajuk (g)	Berat Kering Akar (g)
1	K1D1M1	116 ab	93,20 a	9,14 a	10,73 a	2,42 a
2	K1D1M2	118 ab	71,98 a	3,94 a	8,10 a	1,39 a
3	K1D2M1	128 a	98,90 a	13,93 a	11,09 a	2,24 a
4	K1D2M2	130 a	82,46 a	13,77 a	10,44 a	1,99 a
5	K2D1M1	110 b	20,53 b	6,10 ab	2,72 b	0,84 b
6	K2D1M2	112 b	7,47 b	0,18 ab	2,20 b	0,13 b
7	K2D2M1	114 ab	14,75 b	1,33 ab	2,34 b	0,37 b
8	K2D2M2	118 ab	40,32 b	12,88 ab	5,52 b	1,79 b
9	K3D1M1	96 c	5,88 b	0,79 b	0,98 b	0,36 b
10	K3D1M2	84 c	12,38 b	1,39 b	1,75 b	0,55 b
11	K3D2M1	104 c	2,98 b	0,37 b	0,79 b	0,21 b
12	K3D2M2	104 c	8,35 b	1,58 b	1,33 b	0,36 b

Keterangan: Perbandingan kompos dan FABA= K1 (75:25), K2 (50:50), dan K3 (25:75); Dosis yang digunakan= D1 (75 ton/ha) dan D2 (150 ton/ha); dosis mikoriza= M1 (5 g/4 kg media) dan M2 (2,5 g/4 kg media).

Catatan: Angka yang sama diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menandakan perlakuan yang tidak berbeda secara signifikan pada taraf signifikansi 5%.

Sumber: (Budiman, 2022a)

Tabel 9 Pengaruh Komposisi Campuran dan Dosis KOMFABA terhadap Pertumbuhan Tanaman Tomat

No	Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Berat Basah Tajuk (g)	Berat Basah Akar (g)	Berat Kering Tajuk (g)	Berat Kering Akar (g)
1	K1D1M1	33,8 a	14 ab	26,96 a	2,75 a	3,14 a	0,44 a
2	K1D1M2	37,0 a	16 a	41,43 a	2,56 a	4,78 a	0,36 a
3	K1D2M1	22,8 a	15 b	7,71 a	0,67 a	1,09 a	0,13 a
4	K1D2M2	36,2 a	15 ab	39,4 a	2,77 a	4,26 a	0,45 a
5	K2D1M1	28,0 a	15 ab	21,9 a	1,94 a	2,26 a	0,31 a
6	K2D1M2	27,0 a	15 a	17,86 a	1,24 a	2,05 a	0,22 a
7	K2D2M1	21,5 a	13 b	46,94 a	1,48 a	5,34 a	0,43 a
8	K2D2M2	29,1 a	14 ab	23,41 a	1,64 a	2,48 a	0,27 a
9	K3D1M1	32,3 a	14 ab	19,12 a	3,60 a	2,76 a	0,36 a
10	K3D1M2	27,6 a	15 a	15,95 a	1,03 a	2,02 a	0,21 a
11	K3D2M1	24,8 a	13 b	9,87 a	0,87 a	1,34 a	0,18 a
12	K3D2M2	22,2 a	14 ab	8,88 a	0,50 a	1,15 a	0,13 a

Keterangan: Perbandingan kompos dan FABA= K1 (75:25), K2 (50:50), dan K3 (25:75); Dosis yang digunakan= D1 (75 ton/ha) dan D2 (150 ton/ha); dosis mikoriza= M1 (5 g/4 kg media) dan M2 (2,5 g/4 kg media).

Catatan: Angka yang sama diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menandakan perlakuan yang tidak berbeda secara signifikan pada taraf signifikansi 5%.

Sumber: (Assyifa, 2022)

Strategi Pemilihan Jenis Tanaman

Untuk keberhasilan reklamasi, penting memilih jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan dan syarat tumbuh. Analisis lahan bekas tambang dan rencana pengelolaan tanah yang tepat sangat diperlukan (Oktorina, 2018). Tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan dan persyaratan tumbuhnya akan memiliki kemampuan yang lebih baik untuk berakar dan tumbuh dengan baik, sehingga mempercepat proses pemulihan ekosistem.

Penanaman Pionir Lokal

Keanekaragaman tumbuhan di lahan pasca tambang timah cenderung lebih rendah dibandingkan di hutan (E. Sari *et al.*, 2016). Struktur dan komposisi tumbuhan di hutan sekunder diyakini dipengaruhi oleh kondisi tanah yang cenderung lebih subur daripada di lahan bekas tambang timah. Oleh karena itu, pada lahan bekas tambang timah perlu penambahan bahan organik dan penanaman jenis pionir lokal sangat perlu dilakukan pada kegiatan restorasi untuk mendukung suksesi alami. Kriteria penentuan spesies pionir potensial dilihat dari tingkat adaptasi di lapangan, kecepatan tumbuh, dan ketersediaan bahan tanaman. Jenis pionir lokal yang telah terbukti mampu hidup pada areal bekas tambang timah antara lain adalah Karet dengan persentase kelangsungan hidup sebesar 31,34%, Akasia (*Acacia mangium* Willd.) sebesar 33,64%, dan Sengon (*Falcataria moluccana*) sebesar 35,02% (Syachroni *et al.*, 2019). Tumbuhan sapu-sapu (*Baeckea frutescens* L.), yang memiliki potensi pertumbuhan baik di Bangka Belitung, diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam upaya pemulihan lahan pasca-tambang. Selain itu, tanaman ini juga dapat menjadi alternatif sumber penghasilan bagi masyarakat melalui pengembangan minyak atsiri (Ningsih *et al.*, 2020). Harapannya dapat membantu mempercepat proses pemulihan alamiah dan ekosistem yang terganggu.

Hutan Kerangas Padang

Hutan kerangas Padang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan lahan pasca tambang timah yaitu memiliki karakteristik berpasir, pH sedang, bahan organik dan unsur hara sangat rendah (D. Oktavia, 2014). Hutan kerangas menjadi salah satu sumber benih alami yang potensial dalam mendukung upaya pemulihan lahan pasca tambang timah melalui pendekatan restorasi. Tumbuhan yang mendominasi di hutan kerangas Padang, sering kali berasal dari famili Myrtaceae, memainkan peran penting sebagai pionir dalam memulai proses suksesi alami di lahan pasca tambang, memiliki karakteristik dapat tumbuh di lahan terbuka, menghasilkan banyak serasah, memproduksi buah yang kecil, serta mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Keanekaragaman tumbuhan yang dimiliki hutan kerangas Belitung Timur, mencakup 224 spesies tumbuhan dan 72 famili dengan berbagai habitus dan tingkat pertumbuhan pohon. Di antara keanekaragaman tersebut, terdapat beberapa tumbuhan obat yang dapat diidentifikasi, seperti jemang (*Rhodamnia cinerea*), gelam (*Melaleuca Leucadendron*), keremuntingan (*Rhodomyrtus tomentosa*), keleta'an (*Melastoma polyanthum*), dan sekudong pelandok (*Syzygium buxifolium*) (D. Oktavia, 2012). Pengetahuan mendalam mengenai komposisi vegetasi dan karakteristik ekologis hutan kerangas menjadi landasan penting dalam pemilihan tanaman yang tepat untuk kegiatan revegetasi di lahan bekas tambang timah. Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada, seperti hutan kerangas Padang, dapat membantu mempercepat proses pemulihan ekosistem dan menciptakan lingkungan yang lebih seimbang secara ekologis.

KESIMPULAN DAN SARAN

Indonesia memiliki cadangan timah terbesar di dunia, mencapai 800.000 ton, sementara produksinya menempati peringkat kedua terbesar setelah China, dengan produksi mencapai 74.000 ton pada tahun 2023. Pertambangan timah di Indonesia telah menyebabkan kerusakan lingkungan, ditandai oleh banyaknya kolong-kolong dan kurangnya pelaksanaan reklamasi yang efektif pada lahan bekas

tambang timah. Salah satu solusi yang terbukti efektif untuk reklamasi adalah menggunakan teknologi KOMFABA, yaitu campuran kompos dengan *fly ash bottom ash*. Pemanfaatan KOMFABA telah terbukti meningkatkan sifat kimia tanah, seperti pH, kandungan C-organik, KTK, kandungan unsur hara, dan basa-basa tanah, sehingga lahan tersebut dapat mendukung kegiatan pertanian. Namun, keberhasilan aktivitas pertanian juga bergantung pada pemupukan dengan dosis yang tepat sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Selain itu, strategi pemilihan jenis tanaman untuk revegetasi juga sangat penting dalam meningkatkan keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang timah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S., Anggeraini, L., Bidayani, E., & Kurniawan, K. (2019). Tumpang Tindih Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dengan Pertambangan Timah di Perairan Kota Pangkalpinang, Bangka Belitung. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.33378/jppik.v13i3.133>
- Asmarhansyah, A., & Hasan, R. (2020). Reklamasi Lahan Bekas Tambang Timah Berpotensi sebagai Lahan Pertanian di Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Reklamasi-Lahan-Bekas-Tambang-Timah-Berpotensi-di-Asmarhansyah-Hasan/19afb585f4c0fc769187bdd868e51d3ce94a6fbf>
- Asmarini, W. (2022, October 21). *4 Daerah RI Ini Simpan Harta Karun Top 2 Dunia, Kaya Raya!* CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20221021115005-4-381575/4-daerah-ri-ini-simpan-harta-karun-top-2-dunia-kaya-raya>
- Assyifa, D. N. (2022). *Perbaikan Tanah Berpasir dari Pulau Bangka Menggunakan Kompos Diperkaya FABA pada Pertumbuhan Tanaman Tomat (Solanum lycopersium)*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/110948>
- Budiman, A. S. (2022a). *Pengaruh Pemberian KomFABA Terhadap Sifat-Sifat Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (Zea mays) pada Tanah Pulau Belitung* [IPB University]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/110475>
- Budiman, A. S. (2022b). *Pengaruh Pemberian KomFABA Terhadap Sifat-Sifat Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (Zea mays) pada Tanah Pulau Belitung*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/110475>
- Dinas Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. (2017). *Buku Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung 2016*. Pemerintah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.
- Ferdian, I., Faizal, M., & Hasanudin, H. (2023). Potensi Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Sumber Alternatif Top Soil di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batubara. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.56064/jps.v25i1.793>
- Hamid, I., Priatna, S. J., & Hermawan, A. (2017). Karakteristik Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(1), 168165. <https://doi.org/10.36706/jps.v19i1.8>
- Haryadi, D., Darwance, D., & Salfutra, R. D. (2018). Implementasi Tanggungjawab Reklamasi Pertambangan Timah Di Pulau Belitung. *PROGRESIF: Jurnal Hukum*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.33019/progresif.v12i2.972>
- Hermawan, B. (2011). *Peningkatan Kualitas Lahan Bekas Tambang Melalui Revegetasi Dan Kesesuaiannya Sebagai Lahan Pertanian Tanaman Pangan*. 60–70. <http://faperta.unib.ac.id>
- Hidayatulloh, T. (2015). *Rencana Reklamasi Bekas Penambangan Bijih Timah di Tambang Besar Mapur 2 PT. Timah (Persero) Tbk Kecamatan Riau Silip Kabupaten Bangka Provinsi Bangka Belitung* [Other, UPN "VETERAN" YOGYAKARTA]. <https://eprints.upnyk.ac.id/739/>
- Hs, Y. (2017). Analisis Dampak Pertambangan Timah Rakyat Terhadap Bencana Banjir (Studi Pada Kota Pangkalpinang Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Tahun 2016). *Jurnal Manajemen Bencana (JMB)*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.33172/jmb.v3i1.40>
- Hutabarat, I. E. R., Suprpto, S., Priatna, P., Maryono, M., & Rudiyanah, R. (2023). Potensi Deposit Wolfram di Indonesia: Studi Kasus Toboali- Bangka Selatan. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol19.No2.2023.1478>

- Imanudin, H., Dr. Ir.J. Bambang Rahadi Widiatmono, & Fajri Anugroho. (2022). *Pemanfaatan Limbah Batu Bara Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Dengan Campuran Sludge Black Water dan Kotoran Ternak Sebagai Kompos Blok* [Sarjana, Universitas Brawijaya]. <https://doi.org/10.1/Hafidz%20Imanudin.pdf>
- Iskandar, Suwardi, & Ramadina, E. F. R. (2008). *Pemanfaatan Bahan Amelioran Abu Terbang pada Lingkungan Tanah Gambut: Pengelepasan Hara Makro*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/59708>
- Kementerian ESDM. (2022). *Minerba One Data Indonesia (MODI)*. <https://modi.esdm.go.id/filter?tahun=2022>
- Maisa, H. H. K. (2021). *Karakterisasi Kompos Diperkaya FABA dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) pada Tanah-Tanah Berpasir* [IPB University]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/110169>
- Mongabay. (2022, December 27). *Tambang Timah dan Masa Depan Generasi Muda Bangka Belitung*. Mongabay.Co.Id. <https://www.mongabay.co.id/2022/12/27/tambang-timah-dan-masa-depan-generasi-muda-bangka-belitung/>
- Muh. Alief, R. (2022). *Pemanfaatan Fly Ash-Bottom Ash, Kompos dan Mikoriza untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Pertumbuhan Tanaman* [Thesis, IPB University]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/111905>
- Narendra, B. H. (2006). Ujicoba Sistem Pertanaman Lorong Dalam Rehabilitasi Lahan Kritis Bekas Tambang Batu Apung. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 3(3), 225–235. <https://doi.org/10.20886/jphka.2006.3.3.225-235>
- Ng, S. W.-P., Whitehouse, M. J., Roselee, M. H., Teschner, C., Murtadha, S., Oliver, G. J. H., Ghani, A. A., & Chang, S.-C. (2017). Late Triassic granites from Bangka, Indonesia: A continuation of the Main Range granite province of the South-East Asian Tin Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 138, 548–561. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.03.002>
- Ningsih, D. S., Henri, H., Roanisca, O., & Mahardika, R. G. (2020). Skrining Fitokimia dan Penetapan Kandungan Total Fenolik Ekstrak Daun Tumbuhan Sapu-Sapu (*Baeckea frutescens* L.). *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2020.008.03.06>
- Nugraha, C., Rolliyah, Purwanto, E., Zen, I., Indriani, F., Budiawan, M., Putrantomo, F., & Mawardi, A. (2021). *Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam di Tambang Batubara*.
- Oktavia, D. (2012). *Komposisi Vegetasi dan Potensi Tumbuhan Obat di Hutan Kerangas Kabupaten Belitung Timur Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/57718>
- Oktavia, D. (2014). *Karakteristik Tanah dan Vegetasi di Hutan Kerangas dan Lahan Pasca Tambang Timah di Kabupaten Belitung Timur*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/73532>
- Oktavia, T. (2022). *Upaya Perbaikan Kualitas Tanah di Perkebunan Nanas PT. Great Giant Pineapple menggunakan Kompos Diperkaya FABA dan Lignit*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/114216>
- Oktorina, S. (2018). Kebijakan Reklamasi Dan Revegetasi Lahan Bekas Tambang (Studi Kasus Tambang Batubara Indonesia). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 16–20. <https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.411>
- Pirwanda, F., & Pirngadie, B. H. (2015). Dampak Kegiatan Tambang Timah Inkonvensional Terhadap Perubahan Guna Lahan Di Kabupaten Belitung. *Jurnal Planologi Unpas*, 2(3), 177–194.
- PP No. 22 Tahun. (2021). Indonesia, Pemerintah Pusat. <http://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- PPID, P. P. I. dan D. (2023). *Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola*. <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5864/fly-ash-dan-bottom-ash-faba-hasil-pembakaran-batubara-wajib-dikelola>
- Pramaditya, D. A. (2023). Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Pada Lahan Bekas Tambang Batubara Yang Telah Direklamasi. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.31315/jmel.v6i2.8022>
- PT Timah Tbk. (2021). *Laporan Keberlanjutan 2021—Meraih Pertumbuhan Menuju Keberlanjutan*.

- PT Timah Tbk. (2022). *Mengatasi Tantangan, Memberikan Nilai Yang Lebih Tinggi* [Laporan Tahunan 2022]. <https://timah.com/userfiles/post/2305036451BA0FE9293.pdf>
- Putri, A. F. J., Valensia, M. V., Purnama, R., & Manik, J. D. N. (2023). Dampak Kerusakan Lingkungan Biotik, Abiotik, Dan Sosial Budaya Akibat Pertambangan Timah Ilegal Di Kecamatan Mentok. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(10), Article 10. <https://doi.org/10.55681/sentri.v2i10.1689>
- Ramdan, D. K. K. D., & Apriyanti, dan D. (2021). Analisis Perubahan Lahan Tambang Timah Dan Sebarannya Di Pulau Belitung Dengan Menggunakan Citra Penginderaan Jauh Berbasis Sistem Informasi Geografis Studi Kasus Kabupaten Belitung Timur. *Jurnal Teknik | Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.33751/teknik.v22i1.3730>
- Sari, D. P., & Buchori, I. (2015). Efektivitas Program Reklamasi Pasca Tambang Timah di Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 11(3), 299–312. <https://doi.org/10.14710/pwk.v11i3.10855>
- Sari, E., Giyanto, G., & Sudadi, U. (2016). Acacia auriculiformis dan Eragrostis chariis: Vegetasi Potensial dari Lahan Bekas Tambang Timah Pulau Bangka sebagai Fitoremediator Pb Dan Sn. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 18, 1. <https://doi.org/10.29244/jitl.18.1.1-7>
- Siregar, I. T. N. (2017). Rencana Penataan Lahan Bekas Kolam Pengendapan Timah Di Pit Tb 1.42 Pemali PT.Timah (Persero) Tbk, Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *ReTII*. [//journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/691](http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/691)
- Sriningsih, W. (2022). *Pemanfaatan Limbah Batubara Halus dan Fly Ash-Bottom Ash (FABA) untuk Campuran Tanah Pucuk pada Reklamasi Tambang* [Thesis, IPB University]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/112852>
- Suharyanto, A. (2016). *Potensi Mineral Kasiterit Indonesia sebagai Bahan Baku Pembuatan Senyawa Kimia Timah (Tin Chemical)*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta 2016, Jakarta. <https://www.neliti.com/publications/174906/>
- Sukarman, & Gani, R. A. (2017). Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka dan Belitung, Indonesia dan Kesesuaiannya untuk Komoditas Pertanian (Ex-mining land in Bangka and Belitung Islands, Indonesia and their suitability for agricultural commodities). *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 41(2), 101–112. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/13642>
- Syachroni, S. H., Rosianty, Y., & Samsuri, G. S. (2019). Daya Tumbuh Tanaman Pionir pada Area Bekas Tambang Timah di Kecamatan Bakam, Provinsi Bangka Belitung. *Sylva : Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.32502/sylva.v7i2.1544>
- USGS. (2023). *Mineral Commodity Summaries | Tin Statistics and Information*. U.S. Geological Survey,.
- Wardhani, E., Sutisna, M., & Dewi, A. H. (2012). Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batubara sebagai Campuran Media Tanam pada Tanaman Tomat (Solanum Lycopersicum). *Jurnal Itenas Rekayasa*, 16(1), 218821. <https://www.neliti.com/id/publications/218821/>