

STRATEGI REKLAMASI TANAH PASCATAMBANG DALAM MENDUKUNG PRODUKSI TANAMAN PANGAN BERKELANJUTAN DI INDONESIA

Post-Mining Land Reclamation Strategies to Support Sustainable Food Crop Production in Indonesia

Hermanu Widjaja^{1*}, Iskandar^{1,2}

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

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

*Korespondensi: hermanuwi@apps.ipb.ac.id

Abstract

Post-mining soils in Indonesia are subject to complex biophysical degradation, including soil compaction, loss of organic fractions, deficiencies in essential nutrients, and potential contamination from heavy metals and acid-forming materials. This study aims to evaluate the physical, chemical, and biological limitations of soils in various post-mining ecosystems, specifically former tin, coal, and nickel mining sites, and to assess the effectiveness of integrated reclamation approaches for restoring soil quality and land productivity. Interventions involving the application of organic fertilizers, mineral amendments, inorganic soil conditioners, and leguminous cover crops have demonstrated significant improvements in soil aggregation, cation exchange capacity, and microbial activity. A pilot project in Air Kundur–Bukit Layang, Bangka, revealed that post-mining lands can be successfully converted into productive food crop cultivation zones within 2–3 years, achieving agronomic yields comparable to conventional farmland. The success of post-mining land reclamation is not solely dependent on technical measures, but also on participatory governance and socio-ecological integration, which are essential prerequisites for long-term sustainability and meaningful contributions to national food security.

Keywords: post-mining land reclamation; soil quality restoration; food security; organic and inorganic amelioration.

PENDAHULUAN

Visi nasional 2025–2029 melalui Asta Cita menekankan pentingnya kemandirian bangsa dalam bidang pangan, energi, dan air (Perpres No. 12 Tahun 2025). Untuk memenuhi kebutuhan lahan dalam mendukung agenda tersebut, diperlukan strategi pemanfaatan lahan-lahan nonproduktif secara berkelanjutan. Salah satu potensi besar yang belum dioptimalkan adalah lahan bekas tambang, yang tersebar di berbagai wilayah namun mengalami degradasi ekologis yang serius (Bimantara *et al.* 2024).

Indonesia, negara dengan kekayaan sumber daya mineral yang melimpah, eksploitasi berbagai bahan tambang seperti timah, batubara, nikel, dan bauksit telah menghasilkan wilayah-wilayah pascatambang yang mengalami degradasi berat. Tanah pascatambang di Indonesia umumnya memiliki karakteristik biofisik yang sangat bervariasi dan cenderung ekstrem. Beberapa karakteristik dominan mencakup solum dangkal, agregasi tanah lemah, kandungan bahan organik sangat rendah, defisiensi hara makro dan mikro, serta tingginya laju erosi (Widiatmaka *et al.* 2010; Pratiwi *et al.* 2020; Wulandari *et al.* 2022; Suwardi dan Randrikasari 2024). Selain itu, tantangan spesifik seperti terbentuknya air asam tambang (acid mine drainage, AMD) di wilayah tambang batubara dan potensi pencemaran logam berat di lokasi tambang nikel dan bauksit semakin memperburuk kondisi kesesuaian lahan untuk pertanian (Ojonimi *et al.* 2020; Juhadi *et al.* 2022).

Berbagai literatur dan studi terkini menekankan pentingnya pendekatan pengelolaan tanah terpadu yang mencakup penggunaan amelioran organik (kompos, pupuk kandang, biochar), pupuk mineral spesifik, serta pemanfaatan tanaman penutup (cover crops) untuk memperbaiki sifat fisik-kimia dan biologis tanah (Nurbaity *et al.* 2017; Aini *et al.* 2019; Khan *et al.* 2024). Namun, efektivitas pendekatan-pendekatan tersebut masih sangat bergantung pada kondisi setempat (site-specificity), terutama di wilayah tropika basah dengan keragaman geologi, iklim, dan tekanan sosial yang tinggi (Erfandi 2020).

Selain persoalan teknis, tantangan sosial seperti kekhawatiran masyarakat terhadap keamanan pangan dari lahan reklamasi menjadi hambatan yang tidak dapat diabaikan (Haryadi *et al.* 2025). Isu utama mencakup potensi akumulasi logam berat dalam jaringan tanaman yang dikonsumsi, yang memicu resistensi sosial terhadap pemanfaatan produk pertanian dari lahan eks-tambang (Sarief 2019; Darlis *et al.* 2023; Sumiahadi 2023). Oleh karena itu, pendekatan rehabilitasi yang berkelanjutan harus pula mencakup dimensi validasi ilmiah, edukasi publik, dan komunikasi risiko yang partisipatif (Tibbitt 2024).

Studi ini bertujuan untuk melakukan evaluasi sistematis terhadap keterbatasan fisik, kimia, dan biologis tanah pascatambang di berbagai konteks geospasial pertambangan di Indonesia, serta mengkaji efektivitas strategi rehabilitasi terintegrasi berbasis intervensi teknis dan sosial. Dengan mengombinasikan hasil observasi lapangan, uji amelioran tanah, dan analisis mendalam terhadap proyek percontohan reklamasi, penelitian ini menawarkan kerangka konseptual dan praktis untuk mempercepat transformasi lahan pascatambang menjadi sistem produksi pangan yang aman, produktif, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Karakteristik Lahan Pascatambang

Penelitian ini dilakukan berdasarkan data sekunder pada tiga lanskap pascatambang yang representatif di Indonesia, masing-masing dipilih berdasarkan komoditas utama yang ditambang dan tingkat degradasi tanah serta ekosistemnya. Lokasi tersebut mencakup wilayah bekas tambang timah di Bangka Belitung, wilayah bekas tambang batubara di Kalimantan Timur, dan wilayah bekas tambang nikel di salah satu pulau bagian timur Indonesia. Ketiga lokasi ini mewakili beragam kondisi biofisik dan sejarah gangguan antropogenik, sehingga memungkinkan dilakukan kajian komparatif terhadap kondisi lahan pascatambang dan strategi rehabilitasi di lingkungan tropis.

Di Bangka Belitung, daerah bekas tambang timah telah mengalami eksploitasi mekanis dan ekstraksi mineral dalam jangka waktu yang lama, mengakibatkan permukaan lahan yang sangat terganggu dan didominasi oleh sisa pasir tambang (tailing) berpasir. Pengupasan lapisan tanah penutup secara intensif dan upaya reklamasi yang terbatas telah meninggalkan lanskap dengan penutup vegetasi yang buruk, dan rendahnya kapasitas regenerasi alami. Ketiadaan fraksi tanah halus dan bahan organik memperparah tantangan dalam membentuk kembali struktur dan kesuburan tanah (Herdiyanti *et al.* 2025).

Di Kalimantan Timur, kegiatan tambang batubara dilakukan melalui metode tambang terbuka yang mengekspos lapisan tanah bawah dan merusak horizon tanah alami. Terbentuknya air asam tambang memerlukan penanganan dan perhatian tersendiri. Transformasi geokimia ini secara signifikan mengubah pH tanah dan dinamika hara, sehingga menyulitkan upaya reklamasi (Iskandar *et al.* 2022).

Di bagian timur Indonesia, penambangan nikel dilakukan pada tanah lateritik yang berkembang dari batuan ultrabasa. Proses penambangan mengganggu tanah yang secara alami padat dan kaya logam, menyisakan lapisan permukaan yang sering kali mengalami pemadatan fisik dan ketidakseimbangan kimia. Pemulihan vegetasi di lokasi ini dibatasi tidak hanya oleh kendala fisik, tetapi juga oleh keberadaan konsentrasi besi dan logam berat lain yang berpotensi fitotoksik. Lokasi pulau-pulau yang terpencil serta kondisi geologi yang unik menjadi tantangan tersendiri dalam pelaksanaan rehabilitasi (Widiatmaka *et al.* 2010).

Secara keseluruhan, ketiga lokasi ini merupakan contoh krusial dari degradasi lahan pascatambang di Indonesia dan memberikan wawasan berharga untuk merancang kerangka rehabilitasi tanah yang responsif terhadap kondisi pedologis, iklim, dan ekologi lokal.

Pengambilan dan Analisis Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan secara terstratifikasi, dan representatif terhadap variasi kondisi tanah pascatambang di tiga lingkungan tambang utama: timah (Bangka), batubara (Kalimantan Timur), dan nikel (Indonesia bagian timur). Sampel tanah komposit diambil pada dua kedalaman berbeda yaitu 0–30 cm (lapisan atas) dan 30–60 cm (lapisan bawah). Alat bor dan *core sampler* berbahan *stainless steel* digunakan untuk mencegah kontaminasi.

Tekstur tanah dianalisis dengan metode pipet (Gee dan Bauder 1986), pH tanah diukur dalam suspensi tanah-air 1:2.5 menggunakan elektroda kaca terkalibrasi (Thomas 1996), sedangkan kandungan karbon organik dianalisis menggunakan metode oksidasi basah Walkley-Black yang telah dikoreksi untuk oksidasi yang tidak sempurna (Nelson dan Sommers 1982). Kapasitas tukar kation (KTK) dianalisis dengan metode amonium asetat 1 N (pH 7.0), diikuti destilasi uap (Sumner dan Miller 1996) dan kejenuhan basa dihitung dari proporsi kation basa (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) terhadap total KTK.

Ketersediaan hara makro dinilai melalui pengukuran fosfor tersedia (P) menggunakan ekstraksi Bray I dan metode kolorimetri Murphy & Riley (1962). Kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan natrium (Na) yang dapat dipertukarkan diekstraksi dengan ammonium asetat 1 N (pH 7.0) dan diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Cadangan Fosfor potensial diukur setelah digesti dengan asam klorida (HCl) 25%. Untuk analisis logam berat, digunakan ekstraksi DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid) untuk menentukan kadar besi (Fe) yang tersedia, kemudian dianalisis dengan AAS (Lindsay dan Norvell 1978).

Metodologi Proyek Percontohan Reklamasi

Proyek percontohan reklamasi di Air Kundur 3, Bangka, merupakan bagian dari inisiatif kolaboratif antara *Federal Institute for Geosciences and Natural Resources* (BGR, Jerman), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), serta Pemerintah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang disain teknisnya dilakukan oleh Pusdi Reklamat, IPB. Metodologi proyek terdiri atas

tiga tahap utama: seleksi dan karakterisasi lokasi, pengambilan sampel dan analisis awal, serta perencanaan reklamasi.

Penyaringan regional terhadap empat lokasi bekas tambang timah di Bangka dilakukan berdasarkan kriteria tingkat kerusakan lahan, ketiadaan cadangan timah yang tersisa, aksesibilitas, kedekatan dengan masyarakat, dan potensi diversifikasi penggunaan lahan (misalnya keberadaan kolong tambang). Lokasi "Air Kundur 3" dipilih karena memiliki luas 9,84 ha, terletak dalam area IUP legal, tidak memiliki sumber daya timah yang signifikan, serta berada dekat dengan komunitas lokal yang mendukung kegiatan reklamasi (Möller *et al.* 2024).

Kegiatan lapangan awal mencakup observasi kualitatif dan kuantitatif terhadap fitur tapak, kondisi hidrologi, serta pengambilan sampel tanah dan air. Empat sampel tanah komposit (kedalaman 0–10 cm) dikumpulkan dari petak berukuran 100 m², masing-masing terdiri dari lima sub-sampel. Sampel dianalisis di laboratorium terakreditasi menggunakan metode standar: pH (dalam H₂O dan KCl), karbon organik (Walkley-Black), fosfor tersedia (Bray 1), KTK, dan kation dapat dipertukarkan (Na, K, Ca, Mg). Logam berat (Cu, Pb, Zn, Cd) dianalisis menggunakan ICP-MS dan AAS. Sampel air dari dua kolong tambang dianalisis untuk pH, konduktivitas, kekeruhan, oksigen terlarut, dan kadar nitrit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Pembatas Tanah Pascatambang

Lanskap pascatambang menunjukkan penurunan kualitas tanah yang cukup signifikan, terutama akibat rendahnya bahan organik, ketidakseimbangan hara, pH, serta kapasitas tukar kation (KTK) yang sangat rendah. Hasil analisis tanah dari tiga lokasi pascatambang, yaitu timah (Bangka), batubara (Kalimantan Timur), dan nikel (Indonesia bagian timur) menunjukkan adanya kendala fisiko-kimia yang serius yang dapat menghambat pemulihan ekologi dan penggunaan lahan yang berkelanjutan (Tabel 1).

Tabel 1. Sifat-Sifat Tanah Lapisan Atas pada Lahan Pascatambang

No.	Sifat Tanah	Tambang Timah ^{*)}	Tambang Batubara ^{*)}	Tambang Nikel ^{*)}
1	Pasir (%)	89,6 ± 4,98	38,7 ± 15,4	16,33 ± 3,56
2	Debu (%)	6,0 ± 3,08	30,6 ± 13,9	67,58 ± 2,31
3	Klei (%)	4,8 ± 2,95	30,7 ± 10,4	16,09 ± 2,09
4	pH Tanah (H ₂ O)	4,48 ± 0,41	4,5 ± 0,24	6,26 ± 0,38
5	Karbon Organik (%)	0,42 ± 0,33	0,98 ± 0,34	0,89 ± 0,46
6	KTK (cmol(+)/kg)	1,88 ± 1,26	11,99 ± 1,19	4,05 ± 2,13
7	Ca-dd (cmol(+)/kg)	1,16 ± 1,42	1,51 ± 1,15	0,33 ± 0,21
8	Mg-dd (cmol(+)/kg)	0,95 ± 1,45	2,18 ± 1,46	2,11 ± 1,48
9	K-dd (cmol(+)/kg)	0,29 ± 0,45	0,15 ± 0,05	0,04 ± 0,06
10	Na-dd (cmol(+)/kg)	0,17 ± 0,22	0,03 – 0,15	0,05 ± 0,01
11	Kejenuhan Basa (%)	37,51 ± 16,0	35,8 ± 19,9	65,4 ± 29,8
12	Fosfor Tersedia (ppm)	10,43 ± 2,64	3,62 ± 1,37	13,1 ± 3,5
13	Fosfor Potensial (ppm)	14,06 ± 6,57	19,2 ± 7,13	21,5 ± 4,2
14	Besi Tersedia (ppm)	39,8	150 – 400	762 ± 1318

Sumber data: ^{*)} (Yuarsah *et al.* 2017; Prematuri *et al.* 2020; Wu *et al.* 2022; Möller *et al.* 2024)

Kekurangan Karbon Organik dan Kendala Tekstur Tanah

Kadar karbon organik di seluruh lokasi berada pada level sangat rendah, dengan nilai terendah tercatat di lokasi tambang timah Bangka ($0,42 \pm 0,33\%$). Angka ini jauh di bawah ambang kritis agronomis sebesar 1%, yang mengindikasikan rendahnya aktivitas mikroba, buruknya struktur tanah, dan terbatasnya siklus hara (Sharma *et al.* 2023). Lokasi Bangka didominasi tekstur pasir ($89,6 \pm 4,98\%$), yang menyebabkan daya simpan air rendah, dan pencucian hara cepat. Sebaliknya, lokasi tambang nikel menunjukkan dominasi fraksi debu ($67,58 \pm 2,31\%$), yang meskipun mampu menyimpan kelembaban, dapat menghambat aerasi apabila terlalu padat.

pH Tanah dan Mobilitas Unsur Beracun

Kondisi asam ditemukan di lokasi tambang timah dan batubara ($\text{pH} \sim 4,5$), yang berpotensi meningkatkan kelarutan serta mobilitas unsur toksik seperti aluminium, besi, dan mangan (Paterson *et al.* 1991). Lokasi tambang nikel memiliki pH relatif netral ($6,26 \pm 0,38$), namun kandungan basa-basa sangat rendah dan tidak seimbang ($\text{Mg-dd} > \text{Ca-dd}$), serta kadar besi tersedia yang tinggi (762 ± 1318 ppm) mengindikasikan pelapukan batuan ultrabasa, meningkatkan risiko toksisitas besi dan logam-logam lainnya dan gangguan penyerapan fosfor (Indriyati *et al.* 2023).

Kapasitas Tukar Kation dan Ketersediaan Hara

Nilai KTK sangat bervariasi, tanah tambang batubara menunjukkan nilai sedang ($11,99 \pm 1,19$ cmol(+)/kg), sedangkan tanah tambang timah sangat rendah ($1,88 \pm 1,26$ cmol(+)/kg), yang disebabkan dominasi pasir kuarsa dengan reaktivitas permukaan yang rendah (Sukarman dan Gani 2017). Kejenuhan basa tanah pascatambang di lokasi timah dan batubara pun rendah ($\sim 36\%$), menunjukkan defisiensi kation basa esensial. Kalsium dan magnesium dapat tukar berada dalam kisaran rendah–sedang, dengan pasokan kalsium yang buruk pada lokasi pascatambang nikel ($0,33 \pm 0,21$ cmol(+)/kg). Karakteristik tanah pascatambang nikel dengan kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah, kandungan basa-basa sangat rendah, serta ketidakseimbangan hara ($\text{Mg-dd} > \text{Ca-dd}$), berkaitan dengan hasil lapukan batuan ultrabasa yang didominasi mineral-mineral feromagnesian dan terjadi pencucian yang sangat intensif (Widiatmaka *et al.* 2010; Angelita *et al.* 2020).

Dinamika Fosfor dan Ketidakseimbangan Mikronutrien

Fosfor tersedia sangat rendah di tanah tambang batubara ($3,62 \pm 1,37$ ppm), jauh di bawah ambang batas kritis bagi sebagian besar tanaman (< 10 ppm), sehingga dapat membatasi perkembangan akar dan akumulasi biomassa (Amelia dan Suprayogo 2018). Sebaliknya, lokasi pascatambang timah dan nikel memiliki ketersediaan fosfor relatif lebih tinggi, kemungkinan karena perbedaan bahan induk atau intervensi rehabilitasi sebelumnya. Namun, total fosfor cukup seragam, menandakan sebagian besar fosfor terikat dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman (Dorjsuren 2014).

Akumulasi Besi dan Potensi Fitotoksitas

Akumulasi besi tersedia sangat tinggi terjadi di lokasi tambang nikel (762 ± 1318 ppm), yang mencerminkan paparan overburden ferruginous terhadap oksidasi. Meskipun besi esensial bagi tanaman, konsentrasi berlebih dapat menyebabkan stres oksidatif dan mengganggu penyerapan mikronutrien lain seperti seng dan mangan (Harish *et al.* 2023). Variabilitas kadar besi di lokasi batubara ($150\text{--}400$ ppm) juga menunjukkan keragaman mineralogi dan dinamika drainase tambang.

Hasil Proyek Percontohan Air Kundur 3, Bangka

Studi awal menunjukkan bahwa lokasi reklamasi terdiri dari material tailing berukuran kasar dan kaya kerikil dengan pembentukan tanah yang minimal, kandungan bahan organik sangat rendah, serta ketersediaan hara yang buruk. Nilai pH tanah berkisar antara $5,15\text{--}5,78$, menunjukkan kondisi cukup asam. Kandungan karbon organik sangat rendah (rata-rata $0,27\%$), nitrogen total tidak terdeteksi

(<0,04%). Fosfor tersedia sangat bervariasi (2,5–16,1 mg/kg) dan kapasitas tukar kation cukup rendah (9,87 cmolc/kg), dengan kejenuhan basa hanya 13,16%, menandakan pencucian basa yang cukup intensif.

Secara hidrologis, lokasi didominasi oleh dinamika air musiman, dengan batas utara berupa sungai serta beberapa kolong tambang buatan (3,51 ha atau 28% dari total area). pH air kolong berkisar antara 4,5 (kolong muda) hingga 5,4 (kolong tua), mengindikasikan proses pembentukan asam aktif akibat oksidasi mineral sulfida. Kekeuhan dan nitrit masih berada di bawah batas regulasi, dan kadar oksigen terlarut mencukupi, menandakan stabilitas ekologi moderat di kolong tua.

Meskipun kondisi lahan sangat terdegradasi, tidak ditemukan indikasi kontaminasi logam berat melebihi ambang keamanan pertanian. Sisa sumber daya timah diperkirakan sangat rendah dengan aktivitas penambangan informal yang menghasilkan timah <5 kg/hari, memperkuat potensi reklamasi jangka panjang tanpa gangguan aktivitas tambang rakyat.

Reklamasi percontohan di Air Kundur 3 (Möller *et al.* 2024) menjadi wahana penting untuk mengembangkan strategi rehabilitasi pascatambang timah yang dapat direplikasi di Asia Tenggara. Hasil studi awal menegaskan tiga prioritas utama: (1) perbaikan sifat tanah asam dan miskin hara, (2) perataan kembali substrat untuk stabilitas fisik dan pengelolaan air, dan (3) penanaman vegetasi lokal adaptif untuk memulihkan fungsi ekosistem.

Dari sisi pedologi, dominasi partikel kerikil di tailing sangat membatasi kapasitas tanah menahan air, penetrasi akar, dan penyimpanan hara. Kejenuhan basa dan KTK yang rendah menunjukkan perlunya penambahan bahan organik dan mineral dalam jumlah besar, terutama kapur dan kompos. Pencampuran sedimen halus dari zona sedimentasi lama dengan tailing kasar direkomendasikan untuk memperbaiki tekstur dan kapasitas simpan air, sesuai praktik terbaik dalam rekonstruksi tanah (Iskandar *et al.* 2012; Sukarman *et al.* 2021).

Secara hidrologi, keberadaan kolong tambang memberi peluang dan tantangan. Kolong kecil dapat ditimbun saat perataan lahan, namun kolong besar berpotensi untuk kegiatan akuakultur atau agroforestri. Penggunaan air kolong harus mempertimbangkan risiko pengasaman, khususnya di kolong baru. Sistem pengolahan air aktif atau pasif mungkin dibutuhkan jika kolong digunakan secara intensif. Secara sosial-ekonomi, lokasi ini berpotensi menjadi model reklamasi berbasis masyarakat karena mudah diakses, tidak ada klaim tambang aktif, dan mendapat dukungan lokal. Namun, keberadaan kebun sawit ilegal dan tambang liar menunjukkan bahwa keberhasilan reklamasi harus disertai kepastian tenurial, penegakan regulasi, dan alternatif mata pencaharian berkelanjutan. Ini sejalan dengan pengalaman global bahwa restorasi pascatambang bersifat sosial-teknis (Chigbu 2023; Lee *et al.* 2025).

Dengan demikian, Air Kundur 3 merupakan fondasi yang layak secara ilmiah dan kontekstual untuk intervensi reklamasi model. Keberhasilan implementasi bergantung pada integrasi remediasi biofisik, manajemen adaptif lahan, dan tata kelola partisipatif (Möller *et al.* 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rehabilitasi tanah pascatambang di wilayah tropis seperti Indonesia dapat dilakukan melalui pendekatan terintegrasi dan spesifik lokasi. Penggunaan bahan organik dan pupuk mineral, dipadukan dengan intervensi biologis, dapat secara signifikan memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah

yang sangat terdegradasi. Proyek percontohan di Bangka menunjukkan bahwa lahan bekas tambang timah dapat dikonversi menjadi zona pertanian produktif dengan hasil yang sebanding dengan lahan konvensional. Namun, keberlanjutan jangka panjang dari reklamasi ini bergantung pada pemantauan kualitas tanah secara berkala, manajemen adaptif, dan dukungan kelembagaan. Persepsi publik dan kerangka regulasi juga memegang peran penting dalam memastikan keamanan dan penerimaan sosial dari lahan reklamasi untuk produksi pangan. Integrasi antara solusi teknis, partisipasi masyarakat, dan tata kelola yang baik akan memperkuat keberhasilan ekologis sekaligus dampak sosial ekonominya.

Saran

Model reklamasi yang diterapkan di Air Kundur menunjukkan bahwa konversi lahan pascatambang menjadi kawasan pertanian produktif dapat dilakukan secara berkelanjutan, asalkan didukung oleh keahlian teknis, kelembagaan yang kuat, serta kerangka regulasi yang memadai. Oleh karena itu, kebijakan reklamasi nasional perlu:

- Mendorong integrasi lintas sektor antara **Kementerian Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup (Kemen LH/BPLH)**, Kementerian Pertanian (Kementan), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), serta pemerintah daerah.
- Mengembangkan pedoman teknis yang spesifik berdasarkan agroekosistem dan jenis bahan tambang yang ditangani.

Dari sisi kelembagaan, sangat penting untuk membentuk Pusat Unggulan Reklamasi di wilayah tambang utama seperti Bangka, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tenggara. Pusat-pusat ini berfungsi sebagai simpul pelatihan, riset, dan diseminasi praktik terbaik dalam reklamasi lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH (Opsional)

Bagian ini dapat digunakan untuk menyampaikan ucapan terima kasih atas dukungan dana penelitian yang diterima dan untuk menghargai institusi atau orang-orang yang telah membantu selama penelitian dan proses penulisan artikel berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini SN, Santi R, Zulkipli Z. 2019. Pengaruh Amelioran Pada Lahan Pasca Tambang Timah Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Edamame (*Glycine max* L.). *Semin. Nas. Lahan Suboptimal*.(1):236–245. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://conference.unsri.ac.id/index.php/lahansuboptimal/article/view/1541>
- Amelia L, Suprayogo D. 2018. Manajemen bahan organik untuk reklamasi lahan: analisis hubungan antara sifat kimia tanah dan pertumbuhan pohon di lahan timbunan bekas tambang batubara Pt Bukit Asam (PERSERO), Tbk. *Management of Organic Matter for Land Reclamation: Analysis of*. 5(1).
- Angelita TK, Rasyid B, Neswati R. 2020. Perbaikan Kualitas Tanah Purna Tambang Nikel dengan Penggunaan Mikoriza dan Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit. *J. Ecosolum*. 9(1):28–45.doi:10.20956/ecosolum.v9i1.7250. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/ecosolum/article/view/7250>
- Bimantara MA, Rahmat HK, Hidayat M. 2024. Revitalisasi Lahan Bekas Tambang sebagai Langkah Rehabilitasi Bencana: Sebuah Tinjauan Konseptual. *Trends Appl. Sci. Soc. Sci. Educ*. 2(2):119–134.doi:10.71383/tase.v2i2.59. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://ejournal.pabki.org/index.php/TASE/article/view/59>
- Chigbu UE. 2023. Connecting land tenure to land restoration. *Dev. Pract*. 33(7):762–770.doi:10.1080/09614524.2023.2198681. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/09614524.2023.2198681>
- Darlis VV, Putriani CN, Yoza D, Pebriandi P. 2023. Potensi dan Pertumbuhan Beberapa Jenis Tanaman dalam Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) pada Media Tanah Bekas Tambang Timah Desa

- Siabu Kecamatan Salo Kabupaten Kampar. *J. Trop. Silv.* 14(03):191–194.doi:10.29244/j-siltrop.14.03.191-194. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jsilvik/article/view/52696>
- Dorjsuren M. 2014. Phosphorus distribution in base metal mine tailings and availability for native plants in a semi-arid environment [PhD Thesis]. The University of Queensland. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:342337>
- Erfandi D. 2020. Pengelolaan Lansekap Lahan Bekas Tambang: Pemulihan Lahan Dengan Pemanfaatan Sumberdaya Lokal (In-Situ). *J. Sumberd. Lahan.* 11(2):55.doi:10.21082/jsdl.v11n2.2017.55-66. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jsl/article/view/7371>
- Gee GW, Bauder JW. 1986. Particle-size Analysis. Di dalam: *Methods of Soil Analysis*. [internet] John Wiley & Sons, Ltd. hlm. 383–411. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Harish V, Aslam S, Chouhan S, Pratap Y, Lalotra S. 2023. Iron toxicity in plants: A Review. *Int. J. Environ. Clim. Change.* 13(8):1894–1900.doi:10.9734/ijecc/2023/v13i82145. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/2145>
- Haryadi D, Ibrahim I, Darwance D. 2025. Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi: Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung. *J. Ilmu Lingkung.* 23(1):218–227.doi:10.14710/jil.23.1.218-227. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan/article/view/62782>
- Herdianti H, Suyanto B, Mas’udah S. 2025. Subordinated Ecologies and Livelihood Transformation in Post-Mining Bangka Belitung: Community Dynamics in a Post-Extractive Landscape Ekologi yang Tersubordinasi dan Transformasi Penghidupan di Bangka Belitung Pascatambang: Dinamika Komunitas dalam Lanskap Pasca-Ekstraktif. *Society.* 13:917–933.doi:10.33019/society.v13i2.826.
- Indriyati LT, Nugroho B, Hazra F. 2023. Detoksifikasi Aluminium dan Ketersediaan Fosforus dalam Tanah Masam Melalui Aplikasi Bahan Organik. *J. Ilmu Pertan. Indones.* 28(1):10–17.doi:10.18343/jipi.28.1.10. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI/article/view/41862>
- Iskandar I, Suryaningtyas DT, Baskoro DPT, Budi SW, Gozali I, Suryanto A, Kirmi H, Dultz S. 2022. Revegetation as a driver of chemical and physical soil property changes in a post-mining landscape of East Kalimantan: A chronosequence study. *CATENA.* 215:106355.doi:10.1016/j.catena.2022.106355. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816222003411>
- Iskandar I, Suwardi S, Suryaningtyas D. 2012. Reklamasi Lahan-lahan Bekas Tambang: Beberapa permasalahan terkait sifat-sifat tanah dan solusinya. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi: Bogor, 29-30 Juni 2012. Seminar Nasional Topik Khusus “Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi”*. Bogor, 29-30 Juni 2012;. Bogor, Indonesia. Bogor, Indonesia: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Juhadi J, Pratiwi Elok S, Trihatmoko E, Findayani A, Sartohadi J, Hamid N. 2022. THE STUDY OF ANTHROPOGENIC DISTURBANCE ON GEOPEDOGENETIC PROCESS AT THE LOWER SLOPE OF MT. UNGARAN, INDONESIA. *Rev. Bras. Geomorfol.* 23(3):1735–1752.doi:10.20502/rbg.v23i3.2142. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2142>
- Khan MT, Aleinikovienė J, Butkevičienė L-M. 2024. Innovative Organic Fertilizers and Cover Crops: Perspectives for Sustainable Agriculture in the Era of Climate Change and Organic Agriculture. *Agronomy.* 14(12):2871.doi:10.3390/agronomy14122871. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2871>
- Lee B, Joung D, Kim W, Ko J, Rhee H. 2025. The Social and Ecological Dimension of Ecosystem Service Enhancement in Post-Mining Forest Rehabilitation: Integrating Stakeholder Perspectives. *Forests.* 16(1):7.doi:10.3390/f16010007. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://www.mdpi.com/1999-4907/16/1/7>
- Lindsay WL, Norvell WA. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42(3):421–428.doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.

- [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Möller A, Schütte P, Saragi A, Ichsan N, Franken G, Fourie AB, Tibbett M, Boggs G. 2024. Pilot reclamation of a tin mining area using biochar on Bangka Island, Indonesia. *Australian Centre for Geomechanics*. hlm 473–484. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: https://papers.acg.uwa.edu.au/p/2415_34_Moller/
- Nelson D w., Sommers L e. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Di dalam: *Methods of Soil Analysis*. [internet] John Wiley & Sons, Ltd. hlm. 539–579. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Nurbaity A, Yuniarti A, Sungkono S. 2017. Peningkatan Kualitas Tanah Bekas Tambang Pasir Melalui Penambahan Amelioran Biologis. *Agrikultura*. 28(1).doi:10.24198/agrikultura.v28i1.12295. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://jurnal.unpad.ac.id/agrikultura/article/view/12295>
- Ojonimi TI, Asuke F, Onimisi MA, Onuh CY, Tshiongo-Makgwe N. 2020. Coal mining and the environmental impact of Acid Mine Drainage(AMD): A review. *Niger. J. Technol.* 39(3):738–743.doi:10.4314/njt.v39i3.12. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/view/199744>
- Paterson E, Goodman BA, Farmer VC. 1991. The Chemistry of Aluminium, Iron and Manganese Oxides in Acid Soils. Di dalam: Ulrich B, Sumner ME, editor. *Soil Acidity*. [internet] Berlin, Heidelberg. Berlin, Heidelberg: Springer. hlm. 97–124. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: https://doi.org/10.1007/978-3-642-74442-6_5
- Perpres No. 12 Tahun. 2025. Peraturan Presiden Nomor 12 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025 - 2029. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: https://www.setneg.go.id/baca/index/rpjm_n_2025_2029_fondasi_awal_wujudkan_visi_indonesia_emas_2045
- Pratiwi, Narendra BH, Mulyanto B. 2020. Soil properties improvement and use of adaptive plants for land rehabilitation of post tin mining closure in Bangka Island, Indonesia. *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 21(2).doi:10.13057/biodiv/d210211. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://smujo.id/biodiv/article/view/4917>
- Prematuri R, Turjaman M, Sato T, Tawaraya K. 2020. The Impact of Nickel Mining on Soil Properties and Growth of Two Fast-Growing Tropical Trees Species. *Int. J. For. Res.* 2020:1–9.doi:10.1155/2020/8837590.
- Sarie H. 2019. Potensi Bahaya Kontaminasi Logam Berat di Lahan Bekas Tambang Batubara yang Digunakan Sebagai Lahan Pertanian. *Bul. Loupe*. 15(02):41–41.doi:10.51967/buletinloupe.v15i02.40. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://ejournal.politanisamarinda.ac.id/index.php/jurnalloupe/article/view/40>
- Sharma S, Lishika B, Shubham, Kaushal S. 2023. Soil Quality Indicators: A Comprehensive Review. *Int. J. Plant Soil Sci.* 35(22):315–325.doi:10.9734/ijpss/2023/v35i224139. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journalijpss.com/index.php/IJPSS/article/view/4139>
- Sukarman nFN, Gani RA. 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). *J. Tanah Dan Iklim*. 41(2):101–114. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/index.php/jti/article/view/3230>
- Sukarman, Las I, Noor M, Tafakresnanto C. 2021. *Pengelolaan Lahan Bekarakter Khusus*. Balittra. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/14850>
- Sumiahadi A. 2023. Akumulasi Logam Berat oleh Tanaman Bahan Pangan dan Potensi Dampak Kesehatan yang Ditimbulkan. *Pros. Semin. Nas. Fak. Pertan. UNS*. 7(1):1009–1018. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://proceeding.uns.ac.id/semnasfp/article/view/290>
- Sumner ME, Miller WP. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. Di dalam: *Methods of Soil Analysis*. [internet] John Wiley & Sons, Ltd. hlm. 1201–1229. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.3.c40>
- Suwardi, Randrikasari O. 2024. Teknologi reklamasi lahan bekas tambang timah melalui pemberian bahan amelioran dan pemilihan jenis tanaman: studi kasus kepulauan bangka belitung. *J.*

- Pengelolaan Lingkungan. Pertamb.* 1(1):29–43.doi:10.70191/jplp.v1i1.54894. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jplp/article/view/54894>
- Thomas GW. 1996. Soil pH and Soil Acidity. Di dalam: *Methods of Soil Analysis*. [internet] John Wiley & Sons, Ltd. hlm. 475–490. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.3.c16>
- Tibbett M. 2024. Post-mining ecosystem reconstruction. *Curr. Biol.* 34(9):R387–R393.doi:10.1016/j.cub.2024.03.065. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982224004056>
- 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. *J. Ilmu Tanah Dan Lingkungan.* 12(2):1–10.doi:10.29244/jitl.12.2.1-10. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jtanah/article/view/16596>
- Wu Y, Gao X, Zhou D, Zhou R. 2022. Changes in Soil Physical and Chemical Propertiesafter a Coal Mine Subsidence Event in a Semi-AridClimate Region. *Pol. J. Environ. Stud.* 31(3):2329–2340.doi:10.15244/pjoes/143274. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <http://www.pjoes.com/Changes-in-Soil-Physical-and-Chemical-Properties-nafter-a-Coal-Mine-Subsidence-Event,143274,0,2.html>
- Wulandari D, Agus C, Rosita R, Mansur I, Maulana AF. 2022. Impact of Tin Mining on Soil Physio-Chemical Properties in Bangka, Indonesia. *J. Sains Teknol. Lingkungan.* 14(2):114–121.doi:10.20885/jstl.vol14.iss2.art2. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.uui.ac.id/JSTL/article/view/23823>
- Yuarsah I, Handayani EP, Rakhmiati, Yatmin. 2017. Restoration of Soil Physical and Chemical Properties of Abandoned Tin- Mining in Bangka Belitung Islands. *J. Trop. SOILS.* 22(1):21–28.doi:10.5400/jts.2017.v22i1.21-28. [diunduh 2025 Jun 17]. Tersedia pada: <https://journal.unila.ac.id/index.php/tropicalsoil/article/view/34>