DISKUSI ISU 2

KAJIAN REKLAMASI LAHAN PASCA TAMBANG BATUBARA DI INDONESIA: TANTANGAN TEKNIS, PENDEKATAN REVEGETASI, DAN KESENJANGAN IMPLEMENTASI REGULASI

oleh:

Ahmad Zaki Rafindra Aryasatya

Nathanael Kanaya Re Rubernata

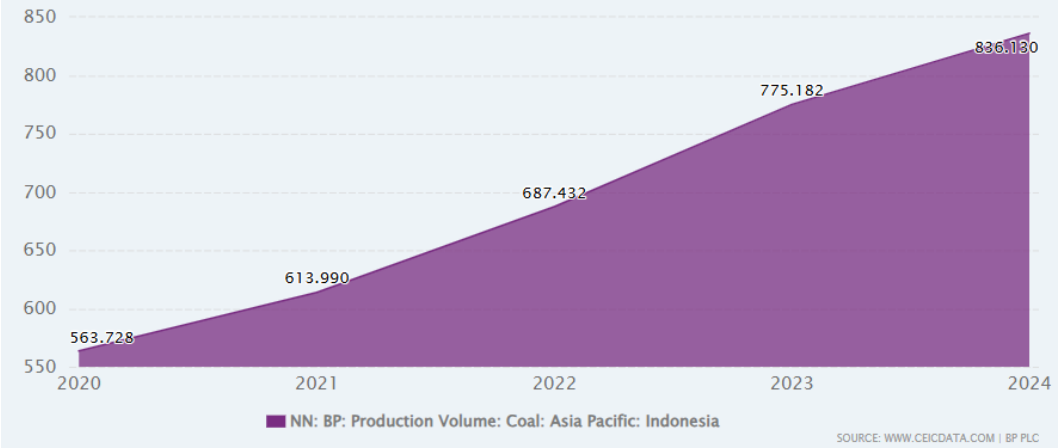
DIVISI KAJIAN STRATEGIS DAN PROPAGANDA HMTA

UPN “VETERAN” YOGYAKARTA

2026

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang



Gambar 1.1 Tren Produksi Batubara Indonesia 2020-2024

Sumber: www.ceicdata.com

Dalam satu dekade terakhir, industri pertambangan batubara di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat dan menjadi salah satu sektor strategis dalam perekonomian nasional. Peningkatan tersebut didorong oleh tingginya permintaan batubara global sebagai sumber energi utama, khususnya untuk kebutuhan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), industri manufaktur, dan sektor metalurgi di berbagai negara. Indonesia memiliki sumber daya batubara sebesar 97,96 miliar ton dan cadangan sekitar 31,9 miliar ton, menjadikannya salah satu negara penghasil batubara terbesar di dunia (Ditjen Minerba, 2025). Produksi batubara nasional mencerminkan tren pertumbuhan yang signifikan dari waktu ke waktu: produksi batubara Indonesia pada tahun 2020 tercatat sebesar 564 juta ton, kemudian meningkat menjadi 614 juta ton pada tahun 2021 dan 687 juta ton pada tahun 2022, hingga mencapai 775 juta ton pada tahun 2023, jauh melampaui target yang ditetapkan sebesar 695 juta ton (Kementerian ESDM, 2024). Puncak produksi dicapai pada tahun 2024, di mana produksi batubara Indonesia mencapai 836 juta ton, angka tertinggi dalam sejarah pertambangan batubara nasional, dengan kontribusi sekitar 70% dari Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) sektor pertambangan yang menyumbang sekitar Rp143 triliun ke kas negara (Ditjen Minerba, 2025). Besarnya skala produksi ini secara langsung berbanding lurus dengan luas pembukaan lahan tambang dan konsekuensi ekologis yang

ditimbulkan. Hingga November 2024, total luas wilayah yang telah diberikan izin usaha pertambangan mineral dan batubara di Indonesia mencapai 9.112.732 hektare, dengan Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan Sumatera Selatan sebagai provinsi dengan konsentrasi izin tertinggi, menjadikan ketiga wilayah tersebut sebagai episentrum persoalan reklamasi lahan pasca tambang di Indonesia (CNBC Indonesia, 2024).

Metode tambang terbuka (*open-pit mining*) yang mendominasi industri batubara Indonesia menyebabkan degradasi lahan akibat hilangnya lapisan tanah atas (*topsoil*), kerusakan struktur tanah akibat pemadatan, serta pencemaran tanah dan air akibat air asam tambang yang bersifat toksik(Suwardi et al., 2025). Jaringan Advokasi Tambang (JATAM) mencatat bahwa pada tahun 2020 terdapat setidaknya 3.092 lubang tambang yang belum direklamasi di Indonesia, menunjukkan besarnya beban pemulihan lahan yang masih harus diselesaikan (Muflihat et al., 2019). Oleh karena itu, reklamasi lahan pasca tambang bukan sekadar kewajiban administratif, melainkan kebutuhan mendasar untuk memulihkan fungsi ekologis lahan agar dapat kembali memberikan manfaat bagi ekosistem dan masyarakat sekitarnya dalam kerangka pertambangan yang berkelanjutan.

Merespons persoalan degradasi lahan pasca tambang yang semakin masif, pemerintah Indonesia telah membangun kerangka regulasi reklamasi secara bertahap. Landasan hukum reklamasi dan pascatambang di Indonesia bertumpu pada Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2025, Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2010, serta Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 yang secara khusus mengatur reklamasi dan pascatambang (Kementerian ESDM, 2025). Tonggak terbaru dalam evolusi regulasi ini adalah ditetapkannya Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 344.K/MB.01/MEM.B/2025 tentang Pedoman Teknis Pelaksanaan Reklamasi dan Pascatambang pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara, yang ditetapkan dan mulai berlaku pada 23 Oktober 2025 (Kementerian ESDM, 2025). Regulasi ini melanjutkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 dan membawa pendekatan yang lebih terstandar, terukur, serta berbasis sistem digital, menandai perubahan fundamental dalam tata kelola reklamasi nasional (Munthe, 2025). Secara substansial, Kepmen ESDM 344/2025 menetapkan

ketentuan teknis yang meliputi: pedoman pengelolaan reklamasi dan pascatambang termasuk wilayah laut; pedoman standar biaya reklamasi; pedoman pembukaan kembali area yang telah direklamasi; serta pedoman penunjukan pihak ketiga sebagai pelaksana reklamasi dan penilai keberhasilan reklamasi (Kementerian ESDM, 2025). Selain itu, jaminan reklamasi dan jaminan pascatambang kini diwajibkan dalam bentuk deposito berjangka, dengan penempatan 100% jaminan pascatambang paling lambat dua tahun sebelum IUP/IUPK berakhir (Munthe, 2025), menggantikan berbagai opsi jaminan yang sebelumnya diperkenankan. Regulasi ini juga menetapkan standar biaya reklamasi per hektare untuk masing-masing provinsi di Indonesia pada periode 2025–2030, yang memberikan kepastian hukum dan keseragaman dalam perhitungan jaminan reklamasi (Munthe, 2025). Dengan demikian, Kepmen ESDM 344/2025 menempatkan reklamasi bukan lagi sebagai kewajiban di akhir siklus tambang, melainkan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari perencanaan operasi produksi secara keseluruhan.

Meskipun kerangka regulasi reklamasi di Indonesia terus mengalami penguatan, berbagai kajian menunjukkan bahwa jarak antara standar normatif dan realita implementasi di lapangan masih menjadi persoalan struktural yang belum terselesaikan. Penelitian yuridis menemukan adanya ketidaksesuaian dan ketidakselarasan antara ketentuan perundang-undangan dengan aturan pelaksana yang berlaku, di mana praktik penyimpangan pengaturan reklamasi pertambangan batubara menyebabkan implementasi kegiatan reklamasi menjadi terkendala dan tidak dapat diwujudkan sebagaimana yang diharapkan (Pratama et al., 2023). Persoalan ini tidak semata bersifat hukum, melainkan juga teknis dan ekologis. Penambangan batubara di kawasan hutan menimbulkan kerusakan ekosistem yang sangat signifikan, sehingga upaya pemulihan ekosistem pasca tambang harus dievaluasi guna mengetahui tingkat dan status keberhasilan serta potensi keterpulihannya (Sudarmadji et al., 2023). Lebih jauh, indikator keberhasilan reklamasi yang selama ini digunakan dalam regulasi Indonesia cenderung berfokus pada tutupan lahan secara kuantitatif, tanpa secara memadai mengukur pemulihan fungsi ekosistem, biodiversitas, dan jasa lingkungan yang sesungguhnya (Nugroho & Yassir, 2017). Kajian lapangan di Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa kontribusi terbesar dalam penilaian keberhasilan reklamasi berasal dari penataan

lahan sebesar 56,42%, sementara kontribusi revegetasi hanya sebesar 14,1% (Sitompul et al., 2025), mencerminkan bahwa aspek pemulihan vegetasi dan ekologi belum menjadi prioritas utama dalam sistem penilaian yang ada. Kondisi ini menunjukkan bahwa penguatan regulasi secara formal belum diikuti oleh peningkatan kapasitas teknis, pembaruan indikator ekologis, maupun sistem verifikasi yang independen di lapangan. Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian ini disusun untuk memetakan tantangan teknis reklamasi dan revegetasi lahan pasca tambang batubara di Indonesia dalam kerangka regulasi terkini, dengan fokus pada identifikasi kesenjangan antara standar yang ditetapkan dan kondisi aktual implementasi, bukan sebagai evaluasi normatif, melainkan sebagai pemetaan berbasis bukti yang dapat menjadi landasan diskusi kebijakan ke depan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi lahan pasca tambang batubara di Indonesia ditinjau dari karakteristik fisik-kimia tanah dan tipologi kerusakan yang ditimbulkan?
2. Apa saja tantangan teknis utama dalam proses reklamasi lahan pasca tambang batubara di Indonesia, mencakup aspek rekayasa tanah, pengendalian *acid mine drainage*, dan stabilitas lahan?
3. Pendekatan dan inovasi revegetasi apa yang berkembang dalam pemulihan lahan pasca tambang, serta sejauh mana relevansinya dalam konteks ekosistem tropis Indonesia?
4. Di mana letak kesenjangan antara standar regulasi reklamasi khususnya dalam kerangka Kepmen ESDM 344 Tahun 2025 dan implementasi di lapangan, baik dari sisi indikator keberhasilan maupun kapasitas pelaksanaan?

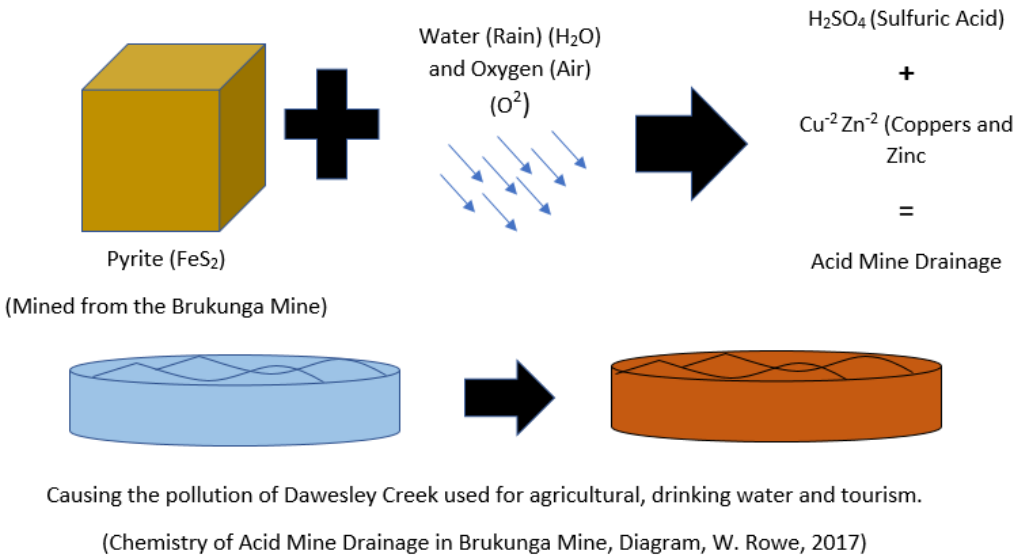
BAB II
PEMBAHASAN

2.1 Kondisi Lahan Pasca Tambang Batubara di Indonesia

Pemahaman komprehensif mengenai kondisi lahan merupakan landasan krusial dalam merancang strategi reklamasi pasca-tambang batubara yang tepat sasaran. Karakteristik lahan bekas tambang berbeda signifikan dari lahan alami maupun lahan pertanian terdegradasi pada umumnya karena kerusakannya bersifat multidimensional mencakup aspek fisik, kimia, dan biologis tanah secara simultan (Shrestha & Lal, 2011). Kondisi ini terjadi sebagai konsekuensi langsung dari aktivitas pengupasan lapisan tanah, penimbunan batuan penutup (*overburden*), serta pemadatan akibat lalu lintas alat berat selama operasional tambang. Guna mengurai kompleksitas tersebut, bagian berikut akan memaparkan sifat fisik-kimia tanah bekas tambang, tipologi kerusakan lahan yang umum dijumpai, serta distribusi spasial permasalahan di wilayah-wilayah utama pertambangan batubara di Indonesia.

2.1.1 Karakteristik Fisik-Kimia Tanah Bekas Tambang

Tanah bekas tambang batubara mengalami degradasi menyeluruh yang mencakup dimensi fisik, kimia, dan biologis secara bersamaan, menjadikannya salah satu jenis lahan terdegradasi paling kompleks untuk dipulihkan. Secara fisik, aktivitas pengupasan lapisan tanah dan lalu lintas alat berat selama operasi tambang menyebabkan pemadatan tanah (*compaction*) yang signifikan, ditandai dengan meningkatnya nilai *bulk density*, menurunnya porositas, serta terhambatnya laju infiltrasi air ke dalam tanah (Pramaditya., 2022). Hilangnya lapisan *topsoil* yang kaya bahan organik turut mengubah tekstur tanah menjadi didominasi fraksi pasir dan material kasar dari lapisan *overburden*, sehingga kemampuan tanah dalam menahan air dan unsur hara menjadi sangat rendah (Fitriani et al., 2018).



Gambar 2.1 Skema Proses Pembentukan Acid Mine Drainage (AMD)

Sumber: Rowe (2017)

Dari sisi kimia, karakteristik paling dominan pada tanah bekas tambang batubara adalah pH yang sangat masam. Kondisi ini terbentuk melalui proses oksidasi mineral pirit (FeS_2) yang terdapat dalam lapisan *overburden* ketika terpapar udara dan air, menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) yang menurunkan pH tanah secara drastis suatu proses yang dikenal sebagai pembentukan *Acid Mine Drainage* (AMD) atau Air Asam Tambang (AAT) (Suwardi et al., 2025). Penelitian lapangan menunjukkan bahwa tanah pada area tandus lahan reklamasi bekas tambang batubara memiliki pH serendah 4,53, dengan kadar besi (Fe) mencapai 11.637,67 ppm dan kadar aluminium (Al^{3+}) sebesar 3 meq/100 g jauh melampaui ambang toksisitas bagi sebagian besar tanaman budidaya (Pramaditya., 2022). Kondisi pH masam ini secara langsung menekan ketersediaan unsur hara makro esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sekaligus meningkatkan kelarutan unsur toksik yang menghambat perkembangan akar dan aktivitas mikroorganisme tanah (Rama Aulia et al., 2025).

Kombinasi antara kompaksi tinggi, pH masam, miskin bahan organik, dan rendahnya kapasitas tukar kation (KTK) menciptakan kondisi tanah yang pada dasarnya tidak mampu menopang pertumbuhan vegetasi tanpa intervensi ameliorasi yang terencana (Karet & Limpas, 2018). Kondisi ini tidak bersifat sementara melainkan dapat bertahan selama puluhan tahun apabila tidak ditangani, karena

proses pembentukan AMD bersifat *self-sustaining* selama mineral pirit masih tersedia dan terpapar oksigen (Suwardi et al., 2025). Pemahaman mendalam terhadap karakteristik ini menjadi prasyarat mutlak bagi perancangan strategi reklamasi yang efektif, karena setiap pendekatan teknis yang diterapkan harus mampu mengatasi seluruh lapisan degradasi tersebut secara simultan.

2.1.2 Tipologi Kerusakan Lahan

Kerusakan lahan akibat penambangan batubara tidak bersifat seragam, melainkan membentuk beberapa tipologi yang masing-masing memerlukan pendekatan reklamasi yang berbeda. Tipologi utama yang dijumpai pada lahan pasca tambang batubara di Indonesia meliputi *void lake* atau danau bekas galian tambang, *spoil dump* atau timbunan material *overburden*, lahan terbuka terdegradasi, serta lereng tidak stabil yang rawan longsor (Adpendi et al., 2020).

Void lake merupakan tipologi kerusakan yang paling sulit dipulihkan karena bersifat permanen secara topografis (Sufriadin et al., 2023). Kondisi lahan pasca tambang berupa lubang galian yang terisi air membentuk ekosistem perairan baru yang karakteristiknya sangat berbeda dari ekosistem asli, dengan kualitas air yang sering kali terkontaminasi oleh pelindian mineral dari dinding galian (Chairuddin et al., 2023). Sementara itu, *spoil dump* sebagai area penimbunan material *overburden* memiliki risiko tersendiri berupa ketidakstabilan lereng dan potensi pembentukan air asam tambang (AAT) yang dapat mencemari perairan di sekitarnya (Suwardi et al., 2025). Kegiatan penambangan batubara menyebabkan kerusakan pada lingkungan seperti hilangnya vegetasi, sehingga reklamasi bertujuan untuk memperbaiki atau memulihkan kondisi lingkungan yang telah rusak dan mengembalikan vegetasi di lingkungan bekas penambangan.

2.1.3 Distribusi Spasial dan Skala Masalah Di Indonesia

Persoalan lahan pasca tambang batubara di Indonesia terkonsentrasi di tiga provinsi utama penghasil batubara. Penambangan batubara di kawasan hutan Kalimantan Timur menimbulkan kerusakan ekosistem yang sangat signifikan, mencakup perubahan tutupan lahan, gangguan hidrologi, dan degradasi keanekaragaman hayati yang membutuhkan upaya rehabilitasi lahan yang terencana dan berkelanjutan (Sudarmadji et al., 2023). Di Sumatera Selatan, operasi tambang batubara skala besar seperti PT Bukit Asam di Tanjung Enim telah

meninggalkan luasan lahan terdegradasi yang signifikan dan menjadi objek kajian reklamasi jangka panjang. Lahan bekas tambang batubara tidak hanya memerlukan mitigasi kerusakan lingkungan, tetapi juga pemulihan fungsi ekosistem untuk menjaga keberlanjutan aktivitas pertambangan dan kualitas lingkungan secara keseluruhan, menegaskan bahwa reklamasi bukan sekadar pemenuhan kewajiban regulasi melainkan kebutuhan ekologis yang mendesak(Han et al., 2024).

2.2 Tantangan Teknis Reklamasi

2.2.1 Rekayasa Tanah (Soil Recovery)

Tantangan teknis utama dalam reklamasi lahan pascatambang batubara di Indonesia berakar pada degradasi fisik dan kimia tanah akibat pengabaian *topsoil salvage* saat pembongkaran lahan. Praktik penambangan yang kurang terencana sering kali menyisakan lapisan bawah (*subsoil*) yang kompak dengan nilai kerapatan isi tanah (*bulk density*) mencapai 1,49-1,53 g/cm^3 (Sidiq, 2025). Tingginya nilai *bulk density* tersebut menyebabkan porositas dan ruang makropori tanah menurun secara drastis sehingga penetrasi akar tanaman menjadi terbatas dan laju limpasan air permukaan meningkat. Untuk memulihkan fungsi ekologis tanah, diperlukan upaya rekayasa tanah (*soil recovery*) melalui tindakan ameliorasi seperti pengapuran (*liming*) guna meningkatkan pH tanah yang masam serta penambahan bahan organik untuk memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK) tanah yang mengalami penurunan akibat aktivitas penambangan (Di, 2023).

Selain kerusakan struktur fisik tanah, pembentukan Air Asam Tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage* (AMD) menjadi ancaman kimiawi yang paling destruktif pada lahan pascatambang batubara. Eksposur batuan penutup (*overburden*) yang mengandung mineral sulfida reaktif, seperti pirit (FeS_2), memicu reaksi oksidasi ketika kontak dengan air dan oksigen. Proses tersebut menghasilkan air tambang dengan tingkat keasaman sangat tinggi, yaitu pada kisaran pH 1,5–4,0, yang mampu melarutkan logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan aluminium (Al) ke lingkungan perairan di sekitarnya (Afaz et al., 2023). Pengendalian AMD memerlukan manajemen material tambang secara selektif melalui identifikasi dan pemisahan batuan pembentuk asam (*Potential Acid Forming/PAF*) dan batuan non-pembentuk asam (*Non-Acid Forming/NAF*) (Abfertiawan et al., 2020). Material PAF harus diisolasi agar tidak terpapar air

maupun oksigen sehingga proses pembentukan air asam tambang dapat diminimalkan.

Tantangan teknis lainnya yang tidak kalah penting adalah rendahnya stabilitas lereng akibat penimbunan material *overburden* yang belum terkonsolidasi secara sempurna. Material timbunan pada area *disposal* umumnya memiliki kuat geser rendah dengan sudut lereng yang curam, berkisar antara 45° hingga 70° (Hasan et al., 2022). Berdasarkan regulasi teknis pertambangan, kestabilan jangka panjang area reklamasi mensyaratkan nilai Faktor Keamanan (FK) statis minimal sebesar 1,25–1,50 agar lereng terhindar dari risiko longsor (Ali et al., 2017). Oleh karena itu, diperlukan penerapan rekayasa geoteknik seperti pelandaian sudut lereng hingga di bawah 20°, pembuatan terasering sebagai pengendali erosi, serta penanaman vegetasi penutup tanah (*cover crops*) untuk mengurangi tingkat erosi dari kategori sangat berat (>100 ton/ha/tahun) menjadi kategori ringan (Bhat et al., 2019).

2.2.2 Pengendalian Air Asam Tambang dan Stabilitas Lahan

Pengendalian air asam tambang (*Acid Mine Drainage*/AMD) menjadi salah satu tantangan teknis utama dalam reklamasi lahan pascatambang batubara di Indonesia karena terbentuk dari oksidasi mineral sulfida yang menghasilkan air dengan pH rendah dan kandungan logam tinggi (Maharani et al., 2019). Metode *passive treatment* seperti *constructed wetlands* dan *limestone channels* mulai banyak digunakan karena mampu meningkatkan pH air tambang secara alami dengan biaya operasional lebih rendah dibanding metode aktif (Skousen et al., 2019). Namun, pada kondisi keasaman tinggi, perusahaan tambang masih bergantung pada *active treatment* melalui penambahan kapur ($CaCO_3$ atau $Ca(OH)_2$) untuk menetralkan air asam secara cepat dan memenuhi baku mutu lingkungan. Selain itu, identifikasi material *Potentially Acid Forming* (PAF) dan *Non-Acid Forming* (NAF) menjadi langkah penting dalam pengelolaan tambang karena kesalahan penempatan material PAF dapat memicu pembentukan AMD dalam jangka panjang bahkan setelah tambang ditutup (Maharani et al., 2019). Kondisi ini menyebabkan pengelolaan AMD membutuhkan pemantauan berkelanjutan dengan biaya tinggi selama fase pascatambang.

Selain masalah AMD, reklamasi tambang di Indonesia juga menghadapi tantangan stabilitas lahan, terutama pada area *spoil dump* yang rentan longsor akibat struktur material yang tidak stabil dan curah hujan tropis yang tinggi. Penelitian pada tambang batubara di Kalimantan menunjukkan bahwa intensitas hujan tinggi meningkatkan risiko erosi dan menurunkan kekuatan lereng karena meningkatnya kadar air pada material timbunan (Pasande, 2024). Menurut penelitian tersebut, erosi pada lahan terbuka pascatambang dapat menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas (*topsoil*) sehingga menghambat pertumbuhan vegetasi reklamasi. Oleh karena itu, pengendalian erosi dilakukan melalui pembuatan drainase, terasering, penanaman vegetasi penutup tanah, serta penguatan lereng untuk mengurangi limpasan permukaan. Tantangan ini menunjukkan bahwa keberhasilan reklamasi tidak hanya bergantung pada revegetasi, tetapi juga pada kemampuan pengelolaan geoteknik dan kualitas lingkungan secara jangka panjang.

2.3 Pendekatan dan Inovasi Revegetasi

2.3.1 Pendekatan Konvensional: Monokultur *Fast-Growing*

Pendekatan revegetasi pascatambang di Indonesia masih banyak menggunakan pola monokultur dengan spesies cepat tumbuh seperti *Acacia mangium* dan *Eucalyptus* karena dinilai mampu mempercepat pencapaian target tutupan lahan sesuai ketentuan reklamasi. Menurut Rusdiana, Mulyana, dan Willujeng (2013), jenis tanaman tersebut dipilih karena mampu tumbuh pada kondisi tanah miskin hara dan memiliki produksi biomassa yang relatif tinggi dalam waktu singkat. Penelitian mereka di area reklamasi PT Bukit Asam menunjukkan bahwa tegakan campuran akasia dan *eucalyptus* memiliki biomassa sebesar 14,24–16,70 ton/ha dengan simpanan karbon mencapai 4,14–5,56 ton/ha. Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan konvensional masih dianggap efektif untuk memenuhi indikator keberhasilan reklamasi secara fisik, terutama dalam meningkatkan tutupan vegetasi pada lahan bekas tambang.

Namun, pendekatan monokultur dinilai kurang optimal dalam mendukung pemulihan fungsi ekologis ekosistem tropis Indonesia yang memiliki tingkat biodiversitas tinggi. Menurut Bugalho dkk. (2019), dominasi *Acacia mangium* dapat menyebabkan struktur vegetasi menjadi homogen dan berpotensi menghambat perkembangan spesies lokal dalam proses suksesi alami. Selain itu,

sistem revegetasi monokultur cenderung lebih fokus pada pencapaian tutupan lahan dibandingkan pemulihan keanekaragaman hayati dan kestabilan ekosistem jangka panjang. Oleh karena itu, perkembangan inovasi revegetasi di Indonesia mulai diarahkan pada penggunaan spesies lokal dan pola tanam multispesies agar proses rehabilitasi lahan pascatambang lebih relevan dengan karakteristik hutan tropis.

2.3.2 Pendekatan Revegetasi Berbasis Ekosistem

Pendekatan revegetasi lahan pascatambang batubara di Indonesia kini bergeser dari sekadar penanaman pohon pionir monokultur menuju restorasi ekosistem secara komprehensif menggunakan spesies lokal (*native species*). Integrasi spesies asli seperti kelompok Dipterokarp (*Shorea leprosula* atau *Shorea smithiana*) dan kayu lokal (*Peronema canescens*) menjadi fondasi utama untuk memicu kembali proses suksesi vegetasi alami yang sempat terputus akibat aktivitas penambangan (Setyadi et al., 2025). Penggunaan spesies lokal dinilai mampu mempercepat pemulihan biodiversitas karena struktur tajuk yang terbentuk dapat menarik kembali satwa penyerbuk dan penyebar biji ke area bekas tambang (Nurlia et al., 2026). Kehadiran fauna tersebut secara bertahap mendorong terbentuknya bank biji alami sehingga mempercepat pembentukan strata hutan tropis sekunder yang lebih heterogen dalam jangka panjang.

Namun, tantangan pertumbuhan spesies lokal pada fase awal penanaman tergolong sangat tinggi akibat kondisi lahan pascatambang yang miskin hara, padat, dan terbuka tanpa pelindung vegetasi. Tanpa adanya tanaman pelindung, bibit spesies asli tropis rentan mengalami stres akibat paparan sinar matahari dan suhu permukaan tanah yang ekstrem sehingga tingkat kelangsungan hidup tanaman menjadi rendah. Untuk mengatasi kondisi tersebut, rekayasa ekosistem umumnya diawali dengan penanaman tanaman penutup tanah (*Legume Cover Crops/LCC*) seperti *Mucuna bracteata* yang berfungsi menurunkan suhu permukaan tanah sekaligus meningkatkan kandungan nitrogen tanah (Suyono, 2024). Setelah kondisi iklim mikro mulai stabil, penanaman spesies lokal dilakukan melalui metode tumpang sari atau penyisipan di bawah naungan tanaman pionir cepat tumbuh.

Selain berfokus pada restorasi hutan alami, pendekatan agroforestri berkembang sebagai strategi revegetasi yang mengintegrasikan aspek ekologis dan sosial-ekonomi masyarakat sekitar tambang. Sistem agroforestri memadukan

tanaman kehutanan lokal dengan komoditas perkebunan maupun tanaman pangan, misalnya kombinasi pohon sengon (*Falcataria moluccana*) dengan tanaman kopi atau rumput pakan ternak (Elfis, 2024). Pendekatan ini tidak hanya mempercepat pembentukan tutupan vegetasi, tetapi juga membantu meningkatkan akumulasi bahan organik pada lapisan tanah atas (*topsoil*). Di sisi lain, agroforestri memberikan alternatif sumber pendapatan bagi masyarakat lokal sehingga mampu mengurangi potensi gangguan sosial terhadap kawasan rehabilitasi.

2.3.3 Inovasi Biologis dan Teknologi Revegetasi

Inovasi biologis menjadi salah satu pendekatan penting dalam mengatasi rendahnya pertumbuhan tanaman pada media tanah pascatambang yang padat dan miskin unsur hara. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan adalah pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) yang diinokulasikan pada bibit tanaman sejak tahap persemaian (Prayudyaningsih, 2014). Keberadaan FMA membantu meningkatkan kemampuan akar dalam menyerap unsur hara, terutama fosfor, sekaligus memperluas jangkauan penyerapan air di dalam tanah (Prayudyaningsih, 2014). Kondisi tersebut membuat tanaman lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dan meningkatkan tingkat keberhasilan tumbuh bibit di lapangan.

Pemulihan kualitas tanah juga diperkuat melalui teknik bioremediasi mikroba dengan memanfaatkan bakteri pelarut fosfat dan bakteri penambat nitrogen. Mikroorganisme tersebut bekerja menguraikan senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah diserap tanaman sekaligus memperbaiki struktur agregat tanah yang rusak akibat aktivitas mekanis pertambangan. Pendekatan ini kemudian dipadukan dengan metode *phytoremediation* menggunakan tanaman hiperakumulator seperti *Pityrogramma calomelanos* atau *Typha latifolia* (Mubarak, 2022). Tanaman tersebut mampu menyerap dan menstabilkan logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) sehingga tingkat toksisitas tanah dapat ditekan sebelum dilakukan penanaman vegetasi utama.

Dalam aspek pemantauan revegetasi, pemanfaatan teknologi Geographic Information System (GIS) dan *remote sensing* membawa perubahan besar dalam evaluasi keberhasilan reklamasi secara spasial (Laksono, 2026). Penggunaan citra satelit resolusi tinggi memungkinkan pemantauan perkembangan tutupan vegetasi,

kerapatan kanopi, serta perubahan tutupan lahan secara berkala. Data spasial tersebut membantu perusahaan tambang dan pengawas lingkungan mengidentifikasi area yang mengalami perlambatan pertumbuhan vegetasi sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat dan tepat sasaran.

Perkembangan teknologi monitoring juga diperkuat melalui penggunaan drone yang dilengkapi sensor multispektral dan sistem Artificial Intelligence (AI). Teknologi ini memungkinkan pemindaian kondisi vegetasi secara otomatis melalui analisis indeks kesehatan tanaman seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Ramadhan, 2025). Penggunaan drone berbasis AI mampu mempercepat proses survei lapangan pada area reklamasi berskala luas sekaligus meningkatkan akurasi deteksi tanaman yang mengalami stres atau kematian. Dengan demikian, proses evaluasi dan penyulaman vegetasi dapat dilakukan secara lebih efisien dan presisi dibandingkan metode konvensional.

2.4 Regulasi Reklamasi dan Kesenjangan Implementasi

2.4.1 Kerangka Regulasi Reklamasi Indonesia

Kerangka regulasi reklamasi dan pascatambang kegiatan usaha pertambangan mineral dan batubara di Indonesia dibangun secara hierarkis mulai dari undang-undang sebagai landasan hukum tertinggi hingga peraturan teknis di tingkat menteri. Dasar hukum utama diatur dalam Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara sebagaimana telah diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2025 tentang Perubahan Keempat atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009. Undang-undang ini secara tegas mewajibkan setiap pemegang izin usaha pertambangan untuk melaksanakan reklamasi dan pascatambang sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan usaha pertambangan.

Pelaksanaan lebih lanjut diatur melalui Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang. Peraturan Pemerintah ini menjadi acuan operasional yang mengatur kewajiban penyusunan rencana reklamasi, penyediaan jaminan reklamasi dan jaminan pascatambang, mekanisme pelaksanaan, pelaporan, serta penilaian keberhasilan reklamasi. Selain itu, Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2010 tentang Pembinaan dan Pengawasan Penyelenggaraan Pengelolaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara juga

mendukung kerangka regulasi ini, terutama dalam aspek pembinaan dan pengawasan oleh pemerintah.

Penyempurnaan regulasi terbaru dilakukan melalui Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 344.K/MB.01/MEM.B/2025 tentang Pedoman Teknis Pelaksanaan Reklamasi dan Pascatambang pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara, yang ditetapkan pada 23 Oktober 2025. Kepmen ESDM No. 344 Tahun 2025 ini merupakan pedoman teknis yang paling komprehensif saat ini. Kepmen tersebut terdiri atas empat lampiran utama, yaitu Lampiran I tentang Pedoman Pengelolaan Reklamasi dan Pascatambang di Wilayah Darat dan Laut, Lampiran II tentang Pedoman Standar Biaya Reklamasi, Lampiran III tentang Pedoman Pembukaan Kembali Area yang Telah Direklamasi, serta Lampiran IV tentang Pedoman Penunjukan Pihak Ketiga sebagai Pelaksana dan Penilai Keberhasilan Reklamasi dan Pascatambang.

Kepmen ESDM No. 344/2025 memperluas cakupan regulasi dengan mengatur reklamasi baik di wilayah darat maupun laut. Regulasi ini mewajibkan pemegang IUP dan IUPK untuk menyusun rencana reklamasi tahap eksplorasi dan operasi produksi secara periodik setiap lima tahun, berdasarkan Dokumen Lingkungan Hidup dan Studi Kelayakan yang telah disetujui. Program reklamasi dapat dilakukan dalam bentuk revegetasi maupun reklamasi bentuk lain (non-revegetasi) seperti area permukiman, pariwisata, sumber air, pembudidayaan, atau energi terbarukan, dengan syarat harus memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar serta sesuai dengan tata guna lahan. Khusus untuk lubang bekas tambang (*void*), diwajibkan kajian teknis yang meliputi stabilisasi lereng, pengamanan, pemulihan kualitas air, serta pemeliharaan jangka panjang.

Selain itu, Kepmen ini juga mengatur secara tegas mengenai jaminan reklamasi yang harus ditempatkan dalam bentuk deposito berjangka, mekanisme pencairan jaminan, serta penilaian keberhasilan reklamasi yang lebih terstandar. Kewenangan evaluasi, persetujuan, pengawasan, dan pengenaan sanksi administratif dilimpahkan kepada Direktur Jenderal Mineral dan Batubara, dengan kemungkinan melibatkan pihak ketiga independen dalam pelaksanaan dan penilaian. Secara keseluruhan, kerangka regulasi reklamasi di Indonesia telah mengalami perkembangan yang signifikan dengan diterbitkannya Kepmen ESDM

No. 344 Tahun 2025. Meskipun demikian, keberhasilan regulasi ini sangat bergantung pada efektivitas implementasi di lapangan, penguatan pengawasan, serta peningkatan kapasitas pelaku usaha pertambangan dalam memenuhi seluruh ketentuan yang telah ditetapkan.

2.4.2 Kesenjangan Implementasi di Lapangan

Regulasi reklamasi pertambangan batubara di Indonesia sesungguhnya tidak pernah kekurangan landasan hukum. Dari Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 jo. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2025, Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010, hingga Kepmen ESDM 344/2025 yang baru berlaku — semuanya secara tegas mewajibkan pemegang IUP untuk melaksanakan reklamasi dan menyediakan jaminan finansial sebagai bentuk tanggung jawab lingkungan (Pratama et al., 2023). Namun kekuatan normatif tersebut belum mampu menutup jurang antara kewajiban hukum dan pelaksanaan di lapangan. Di tingkat Asia Tenggara, kawasan yang menyumbang 40% produksi batubara dunia ini memiliki tingkat kepatuhan reklamasi yang rendah, berkisar antara 45% hingga 60% dari total area yang wajib direklamasi (Ramadhan, 2025). Indonesia tidak terkecuali dari tren ini diperkirakan terdapat 1.735 lubang tambang batubara yang belum terisi kembali di Kalimantan Timur saja, meskipun DPRD Kalimantan Timur telah mengadopsi peraturan provinsi sejak tahun 2013 yang mewajibkan perusahaan pertambangan batubara untuk melakukan reklamasi dan pembersihan pascatambang (Makarim, 2024).

Kesenjangan ini tidak semata bersifat kuantitatif, melainkan juga struktural dan multidimensional. Faktor orientasi profit yang lebih dominan dibandingkan komitmen terhadap kelestarian lingkungan menjadi hambatan signifikan, karena perusahaan cenderung memprioritaskan efisiensi ekonomi jangka pendek dibanding investasi dalam proses reklamasi yang ramah lingkungan. Keterbatasan pengetahuan teknis, kurangnya tenaga ahli, dan periode izin yang terbatas juga menghambat implementasi rencana reklamasi yang efektif (Pramesti et al., 2026). Kondisi ini diperparah oleh lemahnya sistem pengawasan: implementasi reklamasi di Kalimantan Timur menunjukkan tingkat kepatuhan yang bervariasi sangat signifikan perusahaan besar seperti PT Kaltim Prima Coal dan PT Adaro menunjukkan komitmen tinggi melalui reklamasi progresif dan penerapan

teknologi modern, namun masih banyak perusahaan yang belum memenuhi kewajiban reklamasi, dengan akibat nyata berupa 51 korban jiwa akibat lubang tambang yang tidak direklamasi sepanjang periode 2011 hingga 2024 (Ramadhan, 2025). Ketimpangan kepatuhan antara perusahaan besar dan kecil ini menunjukkan bahwa regulasi yang seragam tidak cukup tanpa dibarengi diferensiasi kapasitas teknis dan pengawasan yang proporsional.

Persoalan pengawasan menjadi titik lemah paling kritis dalam rantai implementasi reklamasi. Penelitian yuridis menunjukkan bahwa sistem yang masih bertumpu pada *self-reporting* perusahaan, ditambah keterbatasan sumber daya inspektur tambang di lapangan, menyebabkan rendahnya akurasi antara pelaporan administratif dan kondisi aktual lahan (Pratama et al., 2023). Pemerintah daerah Kalimantan Timur telah berupaya melalui pembentukan Komisi Pengawas Reklamasi berdasarkan PERDA Kaltim Nomor 8 Tahun 2013, namun implementasinya masih menghadapi kendala keterbatasan sumber daya dan kapasitas pengawasan lapangan yang tidak sebanding dengan luasnya wilayah tambang yang harus diawasi (Ramadhan, 2025). Maharani et al. (2024) dalam kajian hukum tentang reklamasi tambang batubara di Samarinda juga menegaskan bahwa meskipun kewenangan pengawasan telah diatur secara jelas dalam regulasi, pelaksanaannya di lapangan masih jauh dari optimal akibat fragmentasi kewenangan antara pemerintah pusat dan daerah pascasentralisasi perizinan tambang.

Celah terbesar yang belum ditutup oleh Kepmen ESDM 344/2025 adalah ketiadaan mekanisme verifikasi ekologis yang independen dan terstandar. Indikator keberhasilan reklamasi yang berlaku saat ini masih bertumpu pada parameter tutupan tajuk minimal 80%, sehingga perusahaan dapat memenuhi kewajiban secara administratif dengan menanam spesies monokultur *fast-growing* tanpa memulihkan fungsi ekosistem yang sesungguhnya (Nugroho & Yassir, 2017). Kajian kritis terhadap regulasi penutupan tambang di Indonesia menegaskan bahwa regulasi yang ada belum sepenuhnya selaras dengan prinsip-prinsip restorasi ekologi, karena masih minim indikator yang mengukur pemulihan keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan secara kuantitatif (Pradana, 2025). Kondisi ini menciptakan paradoks: realisasi reklamasi secara administratif dapat melampaui

target tahunan, sementara degradasi ekosistem sesungguhnya terus berlanjut di balik angka-angka tutupan lahan yang tampak memuaskan.

2.4.3 Problematika Indikator Keberhasilan Reklamasi

Indikator keberhasilan reklamasi di Indonesia masih banyak berfokus pada pencapaian tutupan lahan dan revegetasi secara administratif dibanding pemulihan fungsi ekosistem secara menyeluruh. Berdasarkan Kepmen ESDM, reklamasi revegetasi dinilai berhasil apabila persentase tutupan tajuk mencapai ≥80%, sehingga evaluasi sering lebih menitikberatkan pada aspek visual vegetasi. Area reklamasi dapat mencapai tutupan vegetasi sebesar 94,43%, tetapi capaian tersebut belum tentu mencerminkan keberhasilan ekologis seperti pemulihan biodiversitas dan kualitas tanah. Selain itu, bahwa regulasi reklamasi di Indonesia belum sepenuhnya memenuhi prinsip restorasi ekologi karena masih minim indikator terkait keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara standar keberhasilan administratif dan pemulihan fungsi ekosistem yang sebenarnya.

Permasalahan lain juga terlihat pada pengelolaan *void lake* pascatambang yang hingga kini masih menjadi tantangan lingkungan jangka panjang. Banyak lubang bekas tambang dibiarkan terisi air tanpa pemulihan fungsi ekologis yang jelas, padahal kondisi kualitas air pada *void lake* sering dipengaruhi air asam tambang dan sedimentasi. Di sisi lain, beberapa penelitian menekankan bahwa keberhasilan reklamasi seharusnya tidak hanya diukur dari tutupan vegetasi, tetapi juga dari indikator biodiversitas, stabilitas lahan, kualitas tanah, dan kemampuan ekosistem mendukung jasa lingkungan secara berkelanjutan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa implementasi indikator keberhasilan reklamasi di lapangan masih lebih berorientasi pada pemenuhan standar formal dibanding restorasi ekosistem secara menyeluruh.

BAB III
KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, kajian ini menyimpulkan beberapa hal pokok sebagai berikut.

Pertama, lahan pasca tambang batubara di Indonesia mengalami degradasi yang bersifat multidimensional mencakup kerusakan fisik, kimia, dan biologis tanah secara bersamaan. Secara fisik, aktivitas penambangan terbuka menyebabkan pemadatan tanah yang ditandai dengan meningkatnya nilai *bulk density*, menurunnya porositas, serta hilangnya lapisan *topsoil* yang digantikan oleh material *overburden* yang kasar dan miskin hara. Secara kimia, oksidasi mineral pirit dalam lapisan *overburden* memicu pembentukan *Acid Mine Drainage* (AMD) yang menurunkan pH tanah hingga serendah 4,53 dengan kadar logam toksik yang jauh melampaui ambang batas pertumbuhan tanaman. Kondisi ini terdistribusi secara luas terutama di Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan Sumatera Selatan yang merupakan episentrum pertambangan batubara nasional, dengan total izin usaha pertambangan mencapai 9.112.732 hektare hingga November 2024.

Kedua, tantangan teknis reklamasi lahan pasca tambang batubara di Indonesia bersifat kompleks dan saling berkaitan. Pengabaian praktik *topsoil salvage* pada tahap pembongkaran lahan menjadi akar permasalahan yang mempersulit seluruh proses reklamasi berikutnya. Pengendalian AMD membutuhkan pendekatan yang berlapis, mulai dari identifikasi dan pemisahan material *Potential Acid Forming* (PAF) dan *Non-Acid Forming* (NAF) sejak tahap perencanaan tambang, hingga penerapan *passive treatment* seperti *constructed wetlands* dan *limestone channels* maupun *active treatment* melalui netralisasi kimiawi pada fase operasional dan pascatambang. Di samping itu, stabilitas lereng pada area *spoil dump* menjadi tantangan geoteknik tersendiri, mengingat tingginya curah hujan tropis yang mempercepat erosi dan menurunkan kekuatan geser material timbunan yang belum terkonsolidasi.

Ketiga, pendekatan revegetasi di Indonesia telah mengalami perkembangan yang signifikan, namun praktik di lapangan masih didominasi oleh pola monokultur *fast-growing* yang lebih berorientasi pada pemenuhan target tutupan lahan secara administratif dibanding pemulihan fungsi ekosistem secara menyeluruh.

Pendekatan berbasis ekosistem yang mengintegrasikan spesies lokal, inokulasi *Fungi Mikoriza Arbuskular* (FMA), bioremediasi mikroba, *phytoremediation*, dan sistem agroforestri terbukti lebih efektif dalam memulihkan biodiversitas dan fungsi ekologis jangka panjang. Pemanfaatan teknologi GIS, *remote sensing*, drone berbasis AI, dan analisis NDVI turut membuka peluang pemantauan reklamasi yang lebih akurat, efisien, dan independen.

Keempat, meskipun kerangka regulasi reklamasi di Indonesia terus diperkuat ditandai dengan ditetapkannya Kepmen ESDM 344 Tahun 2025 sebagai pedoman teknis terbaru kesenjangan antara standar normatif dan implementasi di lapangan masih menjadi persoalan struktural. Indikator keberhasilan reklamasi yang masih bertumpu pada persentase tutupan tajuk sebesar minimal 80% belum mampu mencerminkan keberhasilan ekologis yang sesungguhnya. Sistem pengawasan yang masih mengandalkan *self-reporting* perusahaan, keterbatasan jumlah inspektur tambang, serta rendahnya kapasitas teknis perusahaan skala menengah-kecil menjadi faktor utama yang memperlebar kesenjangan antara capaian administratif dan pemulihan ekosistem yang nyata di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Abfertiawan, M. S., Palinggi, Y., Handajani, M., Pranoto, K., & Atmaja, A. (2020). Evaluation of Non-Acid-Forming material layering for the prevention of acid mine drainage of pyrite and jarosite. Heliyon, 6(11). https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E05590

Adpendi, A., Oktavia, M., & Marliantoni, M. (2020). Strategi pengembangan pit lake bekas tambang batubara sebagai obyek wisata di PT. MBT Kabupaten Bungo Provinsi Jambi. Jurnal Mine Magazine, 1(2).

Afaz, T., Razak, A., Syah, N., Diliarosta, S., & Gusman, M. (2023). Analysis of the Impact of Coal Mineacid Water on River Water Quality, Biota, and Human Health Around Mining. Science and Environmental Journals for Postgraduate, 6(1), 277–283. https://doi.org/10.24036/senjop.v6i1.226

Ali, R. K., Najib, & Nasrudin, A. (2017). Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Pada Areal Bekas Tambang Pasir Dan Batu di Desa Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati. Promine Journal.

Bhat, S. A., Dar, M. U. D., & Meena, R. S. (2019). Soil Erosion and Management Strategies. 73–122. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8832-3_3

Bugalho, M. N., et al. (2019). Acacia mangium Willd: Benefits and threats associated with its increasing use around the world. Forest Ecosystems, 6(2). https://link.springer.com/article/10.1186/s40663-019-0159-1

Chairuddin, M. A., Mahyudin, I., Fatah, L., & Aziz, Y. (2023). Dampak Perusahaan Batubara Terhadap Lingkungan dan Ekonomi Lokal Masyarakat Sekitar Kecamatan Padang Batung dan Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Kalimantan Selatan. EnviroScienteae, 19(2), 130-139.

CNBC Indonesia. (2024, November 12). Jangan kaget! Total luas pertambangan di RI capai 9,1 juta hektare. https://www.cnbcindonesia.com/news/20241112152816-4-587606/jangan-kaget-total-luas-pertambangan-di-ri-capai-91-juta-hektare

Di, X. (2023). Land reclamation and soil health in mining area. Journal of Latin American Sciences and Culture. https://doi.org/10.52428/27888991.v5i8.1070

Elfis, E. (2024). Agroforestri. Pekanbaru: UIR Press.

Fitriani, D. A., Nurcholis, M., & Mulyanto, D. (2018). Beberapa sifat fisika dan kimia tanah pada areal revegetasi tanaman sengon di waste dump tambang batubara di Kalimantan Selatan. Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal), 15(2), 55-60. https://doi.org/10.31315/jta.v15i2.4110

Han, T., Li, Q., Hai, Y., Yang, Y., Wen, Z., Li, R., & Zheng, H. (2024). Response of ecosystem services and environmental dynamics in large open-pit coal

mines: A case study in semi-arid areas. Global Ecology and Conservation, 51. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02891

Hasan, H., Oktaviani, R., Trides, T., & Sinaga, D. F. (2022). Disposal slope design based on low-plasticity rock's shear strength in coal mining activities. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 10(1), 3821–3821. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.101.3821

Karet, J. K., & Limpas, U. L. (2018). Teknologi konservasi dan remediasi tanah sulfat masam. PT RajaGrafindo Persada.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024, Januari 15). DMO terpenuhi, produksi batubara lampaui target 2023. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/dmo-terpenuhi-produksi-batubara-lampaui-target-2023

Laksono, A. (2026). Montana Camera AI: Inovasi sistem pemantauan geotagging real-time untuk verifikasi lahan reklamasi berkelanjutan. Agung Laksono.

Maharani, S., Purwanto, P., & Hidayat, J. W. (2019). Permodelan penyebaran batuan Potential Acid Forming (PAF) dan Non Acid Forming (NAF) sebagai upaya pengendalian air asam tambang dengan metode capsuling di PT. Putra Perkasa Abadi Site Girimulya (BIB), Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan (Doctoral dissertation, School of Postgraduate).

Mubarak, A. A. (2022). Potensi restorasi lahan gambut dengan tanaman Typha latifolia menggunakan sistem wetland.

Muflihat, S., Ruqaiyah Baharuddin, S., Ilmi, N., Pendidikan, J., & Otomotif, T. (2019). Tantangan dan Strategi Tambang Terbengkalai: Praktik Baik Internasional.

Nugroho, A. W., & Yassir, I. (2017). Kebijakan penilaian keberhasilan reklamasi lahan pasca-tambang batubara di Indonesia. Jurnal analisis kebijakan kehutanan, 14(2), 121-136.

Nurlia, A., Hamza, H., & Hariyadi, B. (2026). Potensi jenis pohon lokal untuk pemulihan lingkungan lahan pascatambang batubara (Studi kasus di PT Minemex Indonesia). SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah, 5(1), 104–119.

Pasande, Y. (2024). Analisis kemantapan lereng pada perlapisan tambang batubara Pit X PT Cipta Kridatama Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur = Slope stability analysis of coal seam at Pit X PT Cipta Kridatama Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Pramaditya, D. A. (2022). Karakterisasi sifat fisik dan kimia tanah pada lahan bekas tambang batubara yang telah direklamasi. Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan, 6(2), 28-37. https://doi.org/10.31315/jmel.v6i2.8022

Pratama, M. R. F., Karjoko, L., & Hermawan, S. (2023). Analisis Yuridis Pengaturan Reklamasi Pertambangan Batubara Pasca Perubahan Undang-Undang Mineral dan Batubara. Jurnal Discretie, 4(1), 201-211.

Prayudyaningsih, R. (2014). Pertumbuhan semai Alstonia scholaris, Acacia auriculiformis dan Muntingia calabura yang diinokulasi fungi mikoriza arbuskula pada media tanah bekas tambang kapur. Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea, 3(1), 13–23.

Rama Aulia, Fauziah Hafifah Hasanah, Addina Zahara, Zilvina B, & Naskah. (2025). ANALISIS KUALITAS TANAH PADA LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA. Jurnal Psikososial Dan Pendidikan, 1(2), 883–893. https://publisherqu.com/index.php/psikosospen/article/view/2664

Ramadhan, M. P. (2025). Analisis kerapatan vegetasi menggunakan metode NDVI pada wilayah pertambangan migas berdasarkan status kawasan hutan (studi kasus: Wilayah Kerja Migas, Provinsi Riau) (Skripsi doktoral, Universitas Winaya Mukti).

Rusdiana, O., Mulyana, D., & Willujeng, C. U. (2013). Estimation of Carbon Storage Potency of Acacia and Eucalyptus Mixed Stand in Mine Reclamation at PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. Journal of Tropical Silviculture, 4(3).

Shrestha, R. K., & Lal, R. (2011). Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. Geoderma, 161(3), 168–176. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2010.12.015

Sidiq, H. (2025). Determination of disposal material density in open-pit coal mine disposal area. International Journal of Geomate, 29(134). https://doi.org/10.21660/2025.134.5150

Sitompul, Y. H., Sukmawatie, N., Indrajaya, F., Saptawartono, & Fridriyanda, A. (2025). Evaluasi keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang batubara berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 (Studi kasus: Pit Barat PT Wahyu Garuda Kencana, Kalimantan Tengah). Jurnal Ilmu Multidisiplin, 4(4). https://doi.org/10.38035/jim.v4i4

Skousen, J. G., Ziemkiewicz, P. F., & McDonald, L. M. (2019). Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. The Extractive Industries and Society, 6(1), 241–249. https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.09.008

Sudarmadji, T., Aipassa, M. I., & Ruslim, Y. (2023). Keterpulihan ekosistem lahan pasca tambang batubara tertinggal jauh di belakang keberhasilan rehabilitasi lahan. ULIN: Jurnal Hutan Tropis. https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/UJHT/article/view/8377

Sufriadin, S., Nur, I., Ilyas, A., Amalia, R., Gautama, A., Rivai, U. T., & Fikriawan, A. I. (2023). Sosialisasi dan pembinaan kaidah penambangan yang baik (Good Mine Practice) bagi penambang dan masyarakat lingkar tambang batubara di Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat, 6(1), 37–49.

Suwardi, Oktariani, P., Putri, A., & Situmorang, S. (2025). Reclamation Technology for Coal Post-Mining Land Contaminated by Acid Mine Drainage (AMD). Jurnal Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, 2(1), 56–65. https://doi.org/10.70191/jplp.v2i1.62331

Suyono, S. R. H. (2024). Mengenal tanaman penutup lahan (cover crop), petunjuk praktis penanaman dan pemeliharaannya. Penerbit Adab.

Setyadi, A. R. P., Ryadin, A. R., Umaroh, D. A., Purnama, T. J., Hut, S., Messe, Y., ... & Iskandar, S. H. (2025). Konservasi keanekaragaman hayati hutan tropis. LSO Creative.