

**KAJIAN LITERATUR STRATEGI REHABILITASI LAHAN BEKAS  
TAMBANG TIMAH SEBAGAI LAHAN PERTANIAN BERKELANJUTAN  
DI PULAU BANGKA*****LITERATURE REVIEW ON REHABILITATION STRATEGIES FOR  
POST-TIN MINING LAND AS SUSTAINABLE AGRICULTURAL LAND  
ON BANGKA ISLAND*****Priestiani<sup>1</sup>, Lesta<sup>2</sup>, Badriyah<sup>3</sup>, Endjie Nazla Aurelia<sup>4</sup>**<sup>1,2,3,4</sup> Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung<sup>1</sup>[priestiani@polman-babel.ac.id](mailto:priestiani@polman-babel.ac.id), <sup>2</sup>[Lesta@polman-babel.ac.id](mailto:Lesta@polman-babel.ac.id), <sup>3</sup>[Badriyah@polman-babel.ac.id](mailto:Badriyah@polman-babel.ac.id)<sup>4</sup>[endjienazlaaurelia@gmail.com](mailto:endjienazlaaurelia@gmail.com)

Masuk: 07 Mei 2026

Penerimaan: 22 Juni 2026

Publikasi: 29 Juni 2026

**ABSTRAK**

Pulau Bangka merupakan salah satu sentra utama pertambangan timah di Indonesia yang aktivitasnya telah meninggalkan lahan bekas tambang yang luas dengan tingkat degradasi tinggi. Tanah pada lahan bekas tambang timah umumnya kehilangan lapisan atas (*topsoil*), didominasi fraksi pasir kuarsa, miskin bahan organik dan hara, ber-pH masam, serta memiliki kapasitas tukar kation dan kemampuan menahan air yang sangat rendah, sehingga sulit dimanfaatkan secara langsung untuk kegiatan pertanian tanpa upaya rehabilitasi yang terencana. Kajian literatur ini bertujuan mensintesis hasil-hasil penelitian terkait kondisi tanah, strategi teknis rehabilitasi, serta vegetasi dan sistem tanam pada lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka sebagai dasar pengembangan pertanian berkelanjutan. Metode yang digunakan adalah kajian literatur deskriptif-analitis terhadap 25 publikasi nasional dan internasional yang relevan, dengan data disintesis ke dalam tiga tema utama: karakteristik tanah, strategi teknis rehabilitasi, serta vegetasi dan sistem tanam adaptif. Hasil kajian menunjukkan bahwa rehabilitasi memerlukan pendekatan bertahap yang mengintegrasikan perbaikan sifat fisik dan kimia tanah melalui penambahan bahan organik lokal, penataan lahan, dan pengelolaan hara, serta pemanfaatan vegetasi toleran dan sistem tanam adaptif. Sistem tumpangsari legum–tanaman pangan, pengembangan hijauan pakan, dan komoditas bernilai tinggi berpotensi berfungsi ganda sebagai agen rehabilitasi biologis sekaligus sumber produksi. Kajian ini menegaskan pentingnya kerangka rehabilitasi terpadu yang menggabungkan perbaikan tanah dan desain sistem tanam untuk mendukung pemanfaatan lahan bekas tambang timah secara berkelanjutan di Pulau Bangka dan menjadi dasar penyusunan agenda riset lanjutan.

Kata kunci: Literatur, rehabilitasi lahan, tambang timah, Pertanian berkelanjutan, Pulau Bangka.

**ABSTRACT**

Bangka Island is one of Indonesia's primary tin mining centers, where mining activities have left extensive areas of highly degraded post-mining land. Soil in these post-tin mining areas typically has lost its topsoil layer, is dominated by quartz sand fractions, is deficient in organic matter and nutrients, has acidic pH, and exhibits very low cation exchange capacity and water-holding capacity, making it unsuitable for direct agricultural use without planned rehabilitation efforts. This literature review aims to synthesize research findings on soil conditions, technical rehabilitation strategies, and vegetation and cropping systems on post-tin mining land in Bangka Island as a foundation for developing sustainable agriculture. The method employed is a descriptive-analytical literature review of 25 relevant national and international publications, with data synthesized into three main themes: soil characteristics, technical rehabilitation strategies, and vegetation and cropping systems. The results indicate that rehabilitation requires a phased approach that integrates improvements in soil physical and chemical properties through the addition of local organic materials, land contouring, and nutrient management, along with the use of tolerant vegetation and adaptive cropping systems. Legume–food crop intercropping systems, forage crop



*development, and high-value commodities have dual potential as biological rehabilitation agents and production sources. This review underscores the importance of an integrated rehabilitation framework that combines soil amelioration and cropping system design to support sustainable utilization of post-tin mining land on Bangka Island and serves as a basis for formulating future research agendas.*

*Keywords: Literature, land rehabilitation, tin mining, sustainable agriculture, Bangka Island.*

## PENDAHULUAN

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, khususnya di Pulau Bangka, dikenal sebagai salah satu sentra pertambangan timah di Indonesia. Data Badan Pusat Statistik (BPS Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 2024) menunjukkan bahwa sektor pertambangan masih menjadi kontributor utama perekonomian daerah, meskipun dampak ekologisnya sangat signifikan. Aktivitas pertambangan jangka panjang, baik oleh perusahaan maupun tambang inkonvensional, meninggalkan lahan bekas tambang dengan kondisi sangat terdegradasi (Ibrahim *et al.*, 2018). Berbagai kajian menunjukkan bahwa tanah bekas tambang timah umumnya kehilangan lapisan atas (*top soil*), didominasi fraksi pasir, miskin karbon organik dan hara, ber-pH masam serta memiliki kapasitas tukar kation (KTK) dan kemampuan memegang air yang rendah (Sukarman & Gani, 2017; Sukarman *et al.*, 2020), sehingga sangat membatasi pertumbuhan tanaman (Hamid *et al.*, 2019).

Di sisi lain, kebutuhan perluasan areal budidaya dan peningkatan ketahanan pangan mendorong munculnya gagasan pemanfaatan lahan bekas tambang timah sebagai kawasan pertanian berkelanjutan. Sejumlah penelitian di Pulau Bangka menunjukkan bahwa melalui kombinasi ameliorasi dan pengolahan yang tepat, tanah tailing yang semula bersifat hampir *inert* masih dapat direhabilitasi untuk mendukung produksi tanaman pangan, hortikultura, maupun komoditas bernilai tinggi (Inonu *et al.*, 2023; Lestari *et al.*, 2025; Maftukhah *et al.*, 2023; Sae-Tun *et al.*, 2025). Namun, pemanfaatan untuk pangan juga perlu disertai perhatian terhadap potensi akumulasi logam berat pada tanah dan tanaman di lokasi tertentu (Erdaswin *et al.*, 2025; Inonu *et al.*, 2020).

Secara regulasi, kewajiban pelaksanaan reklamasi dan pascatambang telah diatur melalui Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (Republik Indonesia, 2020) serta Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang (Republik Indonesia, 2010). Upaya rehabilitasi lahan perlu menekankan strategi yang operasional dan sesuai dengan ketersediaan sumber daya lokal. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan menekankan pentingnya pendekatan berbasis bahan organik (kompos, pupuk kandang, biochar, dan biomassa lokal) serta pembenah tanah untuk meningkatkan pH, C-organik, KTK dan kapasitas simpan air (Randrikasari, 2024).

Selain aspek tanah, vegetasi dan sistem tanam berperan sebagai agen rehabilitasi biologis sekaligus penghasil produk; pemilihan tanaman toleran serta desain sistem tanam adaptif menentukan keberhasilan pemulihan ekologi dan prospek ekonomi jangka menengah-panjang (Fanni *et al.*, 2022; Nurtjahya *et al.*, 2023). Hingga saat ini, sebagian besar penelitian tentang lahan

bekas tambang timah di Pulau Bangka masih berfokus pada skala kecil dengan komoditas atau teknologi tertentu, atau membahas reklamasi secara umum tanpa mengaitkannya secara eksplisit dengan kerangka pengembangan pertanian berkelanjutan.

Meskipun telah tersedia beberapa tinjauan global tentang reklamasi lahan tambang melalui revegetasi (Sheoran *et al.*, 2010), terdapat tiga celah *research gap* yang belum terjawab: (1) belum ada sintesis komprehensif yang mengintegrasikan aspek biofisik-agronomis dengan konteks pertanian berkelanjutan di lahan pascatambang timah; (2) belum tersedia kerangka tahapan rehabilitasi yang operasional dan berbasis bukti empiris dari studi-studi di Pulau Bangka; serta (3) belum ada penilaian kritis terhadap kualitas metodologis studi-studi yang telah dilakukan. Oleh karena itu, tinjauan sistematis ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi kondisi dan permasalahan tanah bekas tambang timah di Pulau Bangka; (2) mensintesis strategi teknis rehabilitasi tanah yang telah diuji; serta (3) mengevaluasi vegetasi dan sistem tanam adaptif yang berpotensi dikembangkan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian literatur (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif-analitis. Sumber data yang digunakan adalah literatur ilmiah berupa artikel jurnal nasional dan internasional, prosiding seminar, buku, buku teknis, serta tesis yang membahas kondisi tanah, strategi rehabilitasi, dan sistem budidaya pada lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka dan Kepulauan Bangka Belitung.

Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data elektronik Google Scholar, Scopus, dan Portal Garuda menggunakan kata kunci: "lahan bekas tambang timah", "tin mining land", "tin tailing", "rehabilitasi", "reklamasi", "revegetasi", "Bangka", dan "pertanian". Rentang waktu publikasi yang dicakup adalah tahun 2008 hingga 2025. Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan relevansi topik, ketersediaan data empiris, serta lokasi penelitian yang berfokus pada Pulau Bangka atau Kepulauan Bangka Belitung. Berdasarkan hasil penelusuran dan seleksi, sebanyak 25 publikasi digunakan sebagai sumber data utama dalam kajian ini.

Data dari setiap publikasi diekstraksi meliputi: identitas penulis dan tahun terbit, lokasi penelitian, aspek kajian utama, parameter yang diukur, serta temuan utama. Selanjutnya, data yang telah diekstraksi dianalisis secara tematik dan disintesis ke dalam tiga tema utama sesuai tujuan penelitian yaitu: (1) kondisi dan permasalahan tanah bekas tambang timah; (2) strategi teknis rehabilitasi tanah; serta (3) vegetasi dan sistem tanam adaptif. Hasil sintesis disajikan dalam bentuk tabel ringkasan dan uraian naratif untuk membangun kerangka pemahaman yang

komprehensif mengenai potensi pemanfaatan lahan bekas tambang timah sebagai kawasan pertanian berkelanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Seleksi dan Karakteristik Studi

Berdasarkan hasil penelusuran dan seleksi literatur, sebanyak 25 publikasi digunakan sebagai sumber data utama. Ringkasan publikasi yang dianalisis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan publikasi yang dianalisis dalam tinjauan sistematis.

No.	Penulis (Tahun)	Jenis	Lokasi	Aspek Kajian	Temuan Utama
1.	Ardianto (2015)	Tesis	Pulau Bangka	Kondisi Tanah	Tailing didominasi pasir kuar sa >90%, C-organik <1%
2.	Asmarhansyah & Hasan (2015)	Prosiding	Pulau Bangka	Kondisi Tanah	KTK <5 cmol(+)/kg, tekstur pasir, sangat miskin hara
3.	Erdaswin <i>et al.</i> , (2025)	Jurnal Int.	Bangka (3 lokasi)	Tanah; Logam Berat	Umur lahan lebih berpengaruh pada akumulasi logam berat
4.	Fanni <i>et al.</i> , (2022)	Jurnal Nas.	Bangka Tengah	Vegetasi	Identifikasi tanaman sesuai untuk revegetasi
5.	Gunawan & Sari (2021)	Jurnal Nas.	Kab. Bangka	Kondisi Tanah	pH 4,0–5,2; defisiensi N, P, K; kelarutan Al tinggi
6.	Hamid <i>et al.</i> , (2019)	Jurnal Nas.	Pulau Bangka	Kondisi Tanah	Bulk density 1,3–1,6 g/cm <sup>3</sup> ; C-organik sangat rendah
7.	Inonu <i>et al.</i> , (2023)	Jurnal Int.	Bangka	Sistem Budidaya	Kompos sapi 25 t/ha optimal untuk Porang
8.	Inonu <i>et al.</i> , (2020)	Prosiding	Bangka	Rehabilitasi	Kompos TKKS meningkatkan KTK, menurunkan Pb
9.	Juarsah (2011)	Prosiding	Bangka Belitung	Kondisi Tanah	Sifat fisik pascatambang sangat buruk
10.	Juarsah (2016)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Vegetasi; Rehabilitasi	LCC efektif menambah biomassa organik dan N
11.	Juarsah <i>et al.</i> , (2017)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Kondisi Tanah	Status N, P, K sangat rendah
12.	Kurnia & Rohaendi (2022)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Logam Berat	Distribusi Pb, Cd, Cr, Zn, Mn di tanah dan tanaman
13.	Lestari <i>et al.</i> , (2025)	Jurnal Int.	Bangka	Sistem Budidaya	Dosis N 6,125 g/tanaman optimal untuk Pakchong
14.	Maftukhah <i>et al.</i> , (2023)	Jurnal Int.	Bangka	Rehabilitasi; Budidaya	Arang+kompos meningkatkan fiksasi N <sub>2</sub> hingga 802%
15.	Nurtjahya <i>et al.</i> , (2017)	Jurnal Nas.	Bangka	Tanah; Vegetasi	Suksesi alami sangat lambat setelah 10 tahun
16.	Nurtjahya <i>et al.</i> , (2023)	Buku	Bangka	Vegetasi; Rehabilitasi	Panduan revegetasi tanaman pascatambang timah
17.	Randrikasari (2024)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Rehabilitasi	KOMFABA efektif meningkatkan pH, C-organik, KTK
18.	Sae-Tun <i>et al.</i> , (2025)	Jurnal Int.	Bangka	Rehabilitasi	Kompos+arang meningkatkan SOC ≥40 Mg/ha (4 tahun)

No.	Penulis (Tahun)	Jenis	Lokasi	Aspek Kajian	Temuan Utama
19.	Sitorus <i>et al.</i> , (2008)	Jurnal Nas.	Bangka & Singkep	Tanah; Rehabilitasi	<i>Casuarina</i> dan <i>Acacia</i> efektif sebagai pionir
20.	Subardja <i>et al.</i> , (2016)	Buku Teknis	Indonesia	Referensi Standar	Kriteria kesuburan tanah nasional
21.	Sukarman & Gani (2017)	Jurnal Nas.	Bangka & Belitung	Kondisi Tanah	C-organik <1%; kesesuaian pertanian sangat terbatas
22.	Sukarman & Gani (2020)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Tanah; Rehabilitasi	KTK sangat rendah; pengelolaan organik krusial
23.	Sukarman <i>et al.</i> , (2020)	Jurnal Int.	Bangka Belitung	Kondisi Tanah	124.838 ha terdampak degradasi lingkungan
24.	Suryati (2017)	Jurnal Nas.	Bangka Tengah	Rehabilitasi	<i>Glomus</i> paling dominan dan adaptif
25.	Sutono <i>et al.</i> , (2020)	Jurnal Nas.	Bangka Belitung	Tanah; Rehabilitasi	<i>Recontouring</i> + organik insitu efektif

### Kondisi Tanah Lahan Bekas Tambang

Berdasarkan hasil kajian terhadap 25 publikasi, kondisi tanah lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka menunjukkan degradasi yang bersifat multidimensi, mencakup aspek fisika, kimia, maupun biologi tanah. Aktivitas penambangan timah di Pulau Bangka telah menyebabkan degradasi lahan yang ekstrem. Hutan yang semula subur berubah drastis menjadi hamparan tailing yang kehilangan lapisan tanah atas dan didominasi oleh pasir kuarsa. Ringkasan kondisi tanah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi tanah lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka.

Parameter Tanah	Deskripsi Kondisi & Data Kuantitatif	Nilai Standar*	Referensi
Tekstur	Didominasi fraksi pasir (>90%–98%), fraksi debu dan liat sangat minim	Lempung berliat	Ardianto (2015); Asmarhansyah & Hasan (2015)
Struktur & Berat Isi	Struktur lepas; <i>bulk density</i> tinggi (1,3–1,6 g/cm <sup>3</sup> )	1,0–1,3 g/cm <sup>3</sup>	Hamid <i>et al.</i> (2019); Juarsah (2011)
Retensi Air & Suhu	Porositas makro tinggi; suhu permukaan >35°C siang hari	Kapasitas lapang stabil; <30°C	Sitorus <i>et al.</i> (2008); Sukarman <i>et al.</i> (2020)
Derajat Keasaman (pH)	pH 4,0–5,2; kelarutan Al tinggi	pH 5,5–7,0	Gunawan & Sari (2021); Sukarman & Gani (2017)
Bahan Organik (C-Org)	Kandungan C-organik sangat rendah (<1%)	>2%	Sukarman & Gani (2017); Hamid <i>et al.</i> (2019)
Status Hara (N, P, K)	Defisiensi hara makro akibat pencucian intensif	N >0,2%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> >20 ppm	Sukarman & Gani (2020); Juarsah <i>et al.</i> (2017)
KTK	Nilai KTK <5 cmol(+)/kg	>17 cmol(+)/kg	Asmarhansyah & Hasan (2015); Sitorus <i>et al.</i> , (2008)

\*) Berdasarkan kriteria kesuburan tanah nasional (Subardja *et al.*, 2016).

Kerusakan paling mendasar pada lahan pascatambang timah adalah hancurnya struktur alami tanah akibat proses pencucian hidrolis. Tanah tailing yang didominasi oleh pasir kuarsa

(>90%) menciptakan pori-pori makro, sehingga tanah kehilangan kemampuan menahan air (Ardianto, 2015). Porositas makro yang tinggi menyebabkan air mudah hilang melalui perkolasi (Sukarman *et al.*, 2020).

Masalah kimiawi jauh lebih kompleks daripada sekadar tanah masam. Studi kronosekuensi oleh Nurtjahya *et al.*, (2009) pada lahan tailing berumur 1 hingga 25 tahun di Bangka menunjukkan bahwa meskipun lahan sudah didiamkan selama lebih dari satu dekade, kadar nitrogen dan bahan organik masih jauh di bawah standar, menandakan suksesi alami berjalan sangat lambat (Nurtjahya *et al.*, 2017). Rendahnya KTK menjadi kendala serius; tanpa bahan organik atau fraksi liat yang memadai, unsur hara mudah mengalami pencucian oleh air hujan (Sukarman & Gani, 2020).

Aspek yang kerap kurang diperhatikan adalah residu logam berat. Mineral ikutan seperti pirit dan monasit yang tertinggal dapat melepaskan logam berbahaya (Pb, As, Cd) ketika terpapar udara (Kurnia & Rohaendi, 2022). Kontaminasi logam berat pada lahan pertanian pascatambang merupakan isu global yang menyangkut keamanan pangan, karena logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tanaman dan masuk ke rantai makanan manusia (Pruvot *et al.*, 2006). Oleh karena itu, strategi rehabilitasi harus melibatkan fitoremediasi dan bioremediasi menggunakan bahan organik, tanaman akumulator, dan mikroba untuk mengikat (imobilisasi) logam berat agar tidak terserap tanaman (Ali *et al.*, 2013; Widyati, 2011).

### Strategi Teknis Rehabilitasi Tanah Bekas Tambang Timah

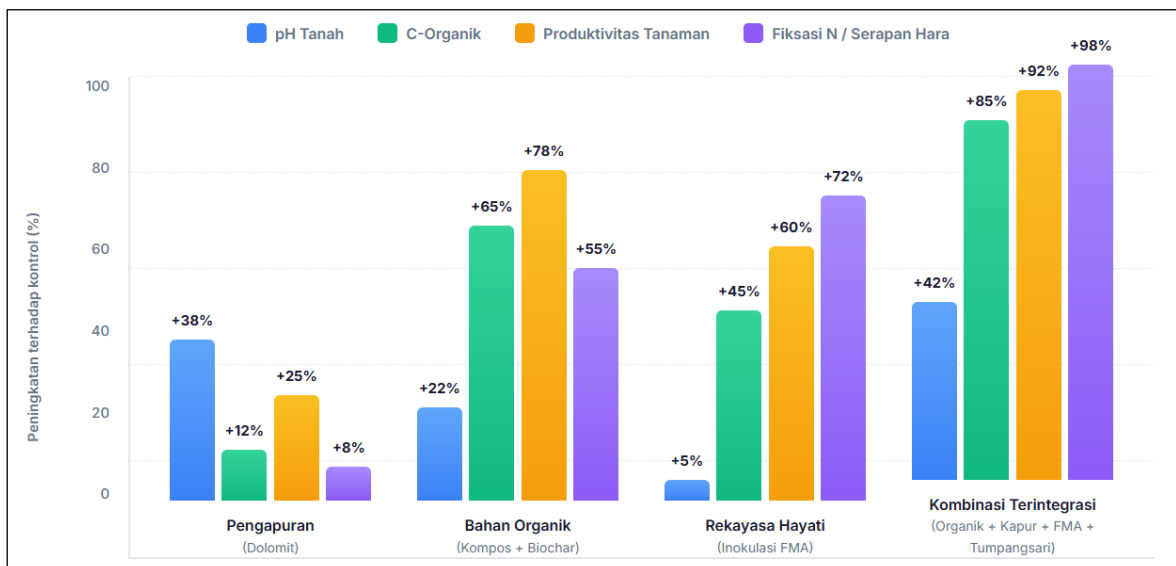
Berbagai strategi teknis telah diuji secara empiris oleh para peneliti untuk merehabilitasi tanah bekas tambang timah di Pulau Bangka. Strategi tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama: rekayasa media (ameliorasi), rekayasa hayati, dan sistem budidaya. Ringkasan strategi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Strategi teknis rehabilitasi tanah bekas tambang timah.

Kategori & Strategi	Metode	Respon	Tantangan	Referensi
<b>1. Rekayasa Media (Ameliorasi)</b>				
Ameliorasi Fisik	<i>Recontouring</i> + Bahan Organik Insitu	C-organik ↑, Erosi ↓	Biaya alat berat tinggi	Sutono <i>et al.</i> , (2020)
Ameliorasi Kimia	Dolomit + Biochar	pH ↑, Toksisitas Al ↓	Efek residu cepat hilang	Sae-Tun <i>et al.</i> , (2025)
Ameliorasi Organik	Kompos TKKS	KTK ↑, Pb ↓	Perlu pengomposan matang	Inonu <i>et al.</i> , (2020)
<b>2. Rekayasa Hayati</b>				
Mikrobiologi	Inokulasi FMA	Serapan P ↑	Ketersediaan inokulum lokal	Nurtjahya <i>et al.</i> , (2017); Suryati (2017)

Kategori & Strategi	Metode	Respon	Tantangan	Referensi
Vegetasi Perintis	Revegetasi Spesies Lokal & LCC	Biomassa ↑, Suhu Tanah ↓	Pertumbuhan lambat fase awal	Fanni <i>et al.</i> (2022); Juarsah (2016)
Konservasi	Cemara Laut + Amelioran	Infiltrasi ↑, Fiksasi N ↑	Manfaat jangka panjang	Sitorus <i>et al.</i> , (2008)
<b>3. Sistem Budidaya</b>				
Tumpangsari	Legum–Ubi Kayu + Organik	Fiksasi N ↑, LER ↑	Manajemen kompleks	Maftukhah <i>et al.</i> , (2023)
Tanaman Bernilai	Porang + Kompos Sapi	Umbi Optimal, Nilai Ekonomi ↑	Rentan penyakit	Inonu <i>et al.</i> (2023)
Integrasi Ternak	Rumput Pakchong + Pupuk N	Biomassa Hijauan ↑	Presisi dosis N	Lestari <i>et al.</i> , (2025)

Tabel 3 menegaskan bahwa perbaikan fisik dan kimia tanah merupakan prasyarat mutlak sebelum revegetasi. Kombinasi *recontouring* dengan bahan organik terbukti efektif memulihkan status C-organik dan menekan toksisitas logam berat (Sae-Tun *et al.*, 2025; Sutono *et al.*, 2020). Studi terbaru oleh Maftukhah *et al.* (2022); Rahayu *et al.*, (2025) mengonfirmasi bahwa kombinasi kompos dan biochar secara sinergis meningkatkan kesuburan tanah dan memulihkan stoikiometri C–N pada lahan tailing. Integrasi dengan rekayasa hayati menjadi krusial — mikoriza mampu memfasilitasi serapan hara pada kondisi tanah yang miskin (Nurtjahya *et al.*, 2017; Suryati, 2017). Secara global, peran fungi mikoriza arbuskula dalam restorasi lahan terdegradasi telah banyak didokumentasikan (Asmelash *et al.*, 2016), yang sejalan dengan temuan spesifik di lahan pascatambang timah Bangka.



Gambar 1. Persentasi peningkatan parameter tanah dan produktivitas tanaman. Data diolah dari berbagai sumber: Gunawan & Sari (2021), Sae-Tun *et al.*, (2025), Inonu *et al.*, (2023), Maftukhah *et al.*, (2023), Nurtjahya *et al.*, (2017)

Gambar 1 menyajikan perbandingan efektivitas empat kategori strategi rehabilitasi terhadap peningkatan parameter tanah dan produktivitas tanaman relatif terhadap kontrol (lahan tailing tanpa perlakuan). Setiap kategori menunjukkan profil keunggulan yang berbeda-beda, mengindikasikan bahwa masing-masing strategi memiliki mekanisme kerja spesifik yang hanya efektif pada aspek tertentu dari degradasi tanah. Pengapuran menggunakan dolomit memberikan respons tertinggi pada peningkatan pH tanah (+38%) karena ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  secara langsung menetralkan kemasaman dan menurunkan kelarutan aluminium yang bersifat toksik bagi akar tanaman (Gunawan & Sari, 2021).

Namun, pengapuran semata tidak mampu memulihkan kandungan C-organik (+12%) maupun menstimulasi fiksasi nitrogen (+8%), karena tidak menyuplai sumber karbon bagi aktivitas biologis tanah. Sebaliknya, aplikasi bahan organik berupa kompos dan biochar menunjukkan peningkatan C-organik yang jauh lebih signifikan (+65%) serta produktivitas tanaman yang substansial (+78%), sejalan dengan temuan Sae-Tun *et al.*, (2025) bahwa kombinasi kompos dan arang mampu meningkatkan stok karbon organik tanah hingga  $\geq 40$  Mg/ha dalam empat tahun. Meskipun demikian, pengaruh bahan organik terhadap pH tanah (+22%) lebih moderat dibandingkan pengapuran, menunjukkan bahwa ameliorasi organik tidak dapat sepenuhnya menggantikan fungsi pengapuran dalam mengatasi kemasaman tanah.

Rekayasa hayati melalui inokulasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) memperlihatkan profil yang unik: keunggulan utamanya terletak pada aspek fiksasi nitrogen dan serapan hara (+72%) serta produktivitas tanaman (+60%), namun dampaknya terhadap perbaikan sifat kimia dasar tanah seperti pH (+5%) dan C-organik (+45%) relatif lebih rendah. Pola ini konsisten dengan mekanisme kerja FMA yang berfungsi sebagai perpanjangan sistem perakaran untuk mengakses hara di zona yang tidak terjangkau akar (Suryati, 2017; Asmelash *et al.*, 2016), bukan sebagai agen pengubah sifat kimia tanah secara langsung. Temuan paling signifikan terlihat pada pendekatan kombinasi terintegrasi — yang menggabungkan bahan organik, pengapuran, inokulasi FMA, dan sistem tumpangsari — yang menghasilkan peningkatan tertinggi secara konsisten di seluruh parameter: pH tanah (+42%), C-organik (+85%), produktivitas tanaman (+92%), dan fiksasi nitrogen (+98%).

Peningkatan fiksasi nitrogen yang sangat tinggi pada pendekatan kombinasi ini sejalan dengan hasil penelitian Maftukhah *et al.* (2023) yang melaporkan peningkatan fiksasi  $\text{N}_2$  secara dramatis pada sistem tumpangsari legum–singkong yang diberi amandemen kompos dan *biochar*. Data pada Gambar 1 secara keseluruhan mendemonstrasikan bahwa tidak ada satu strategi tunggal yang mampu mengatasi seluruh dimensi degradasi lahan pascatambang secara optimal;

efektivitas maksimal hanya dapat dicapai melalui pendekatan kombinasi sinergis yang mengintegrasikan ameliorasi fisik-kimia, rekayasa hayati, dan sistem budidaya adaptif secara simultan.

### Vegetasi Adaptif dan Pola Tanam Berkelanjutan

Keberhasilan rehabilitasi sangat ditentukan oleh ketepatan pemilihan vegetasi. Tanaman pionir seperti Cemara Laut (*Casuarina equisetifolia*) dan Akasia (*Acacia mangium*) menjadi pilihan utama karena toleransinya terhadap cekaman kekeringan dan pH masam. Pemilihan spesies ini sejalan dengan pengalaman reforestasi lahan tailing timah di Malaysia, di mana *Acacia mangium* juga terbukti efektif sebagai spesies pionir (Ang & Ho, 2002). *Casuarina* mampu bersimbiosis dengan bakteri *Frankia* untuk mengikat nitrogen udara (Sitorus *et al.*, 2008). Penanaman LCC seperti *Centrosema pubescens* sangat krusial untuk menambah biomassa organik secara cepat (Juarsah, 2016; Maftukhah *et al.*, 2022).

Setelah kondisi fisik tanah membaik, pola tanam diarahkan ke komoditas pangan dengan pendekatan tumpangsari. Studi Maftukhah *et al.*, (2023) membuktikan bahwa tumpangsari legum–singkong lebih unggul dibanding monokultur. Untuk keberlanjutan ekonomi, rumput Pakchong (Lestari *et al.*, 2025) dan Porang (Inonu *et al.*, 2023) muncul sebagai komoditas unggulan baru.

### Kerangka Rehabilitasi Bertahap

Berdasarkan sintesis tematik dari 25 studi yang dikaji, disusun kerangka rehabilitasi bertahap yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kerangka rehabilitasi bertahap lahan bekas tambang timah untuk pertanian berkelanjutan.

Fase	Penulis (Tahun)	Jenis	Lokasi	Aspek Kajian	Temuan Utama
I	Stabilisasi & Ameliorasi Dasar	0–6 bulan	Recontouring; pengapuran (dolomit); aplikasi biochar/kompos dosis tinggi	pH $\geq 5,5$ ; C-organik $>1\%$	Sutono <i>et al.</i> , (2020); Sae-Tun <i>et al.</i> (2025)
II	Revegetasi Pionir & Pemulihan Biologi	6–24 bulan	Penanaman <i>Casuarina</i> , <i>Acacia</i> , LCC; Inokulasi FMA	Tutupan vegetasi $>60\%$ ; suhu tanah $<32^{\circ}\text{C}$	Sitorus <i>et al.</i> (2008); Fanni <i>et al.</i> , (2022)
III	Transisi ke Sistem Budidaya Adaptif	2–4 tahun	Tumpangsari legum–singkong; monitoring logam berat	LER $>1,0$ ; logam berat di bawah baku mutu	Maftukhah <i>et al.</i> , (2023); Erdaswin <i>et al.</i> , (2025)
IV	Intensifikasi & Diversifikasi Ekonomi	$>4$ tahun	Porang, rumput Pakchong; integrasi tanaman–ternak	Pendapatan $\uparrow$ ; KTK $>10$ cmol(+)/kg	Inonu <i>et al.</i> , (2023); Lestari <i>et al.</i> , (2025)

Kerangka rehabilitasi bertahap empat fase ini dirumuskan melalui sintesis tematik dari 25 studi yang diinklusi, dengan mempertimbangkan urutan kronologis intervensi dan indikator keberhasilan yang dilaporkan. Penetapan durasi setiap fase didasarkan pada rentang waktu respons yang dilaporkan dalam studi-studi terkait: Fase I mengacu pada respons ameliorasi yang dilaporkan Sutono *et al.*, (2020); Sae-Tun *et al.*, (2025) dalam rentang 3–6 bulan; Fase II mengacu pada waktu pencapaian tutupan vegetasi oleh tanaman pionir yang dilaporkan Sitorus *et al.*, (2008); Fanni *et al.*, (2022); Fase III mengacu pada hasil tumpangsari dalam 2–3 musim tanam (Maftukhah *et al.*, 2023); sementara Fase IV merupakan proyeksi berdasarkan tren peningkatan kesuburan tanah yang dilaporkan Sae-Tun *et al.*, (2025) setelah 4 tahun. Kerangka ini menekankan bahwa rehabilitasi bukan proses instan, melainkan serangkaian intervensi yang berurutan dan terintegrasi. Monitoring logam berat pada Fase III merupakan langkah kritis yang membedakan rehabilitasi untuk pertanian pangan dari rehabilitasi untuk kehutanan.

### **Implikasi Praktis dan Keterbatasan Kajian**

Kerangka rehabilitasi bertahap empat fase yang dirumuskan dalam kajian ini memiliki beberapa implikasi praktis. Pertama, kerangka ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dan perusahaan tambang dalam menyusun rencana reklamasi pascatambang sesuai amanat Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang (Republik Indonesia, 2010). Kedua, pemilihan bahan amelioran berbasis sumber daya lokal—seperti kompos tandan kosong kelapa sawit (TKKS), pupuk kandang sapi, dan biochar—menunjukkan bahwa rehabilitasi dapat dilakukan dengan biaya yang relatif terjangkau tanpa bergantung pada input eksternal yang mahal. Ketiga, integrasi tanaman pangan (singkong, Porang) dengan tanaman pakan ternak (rumput Pakchong) dalam sistem tumpangsari membuka peluang pengembangan model pertanian terpadu yang berkelanjutan secara ekologis maupun ekonomis.

Meskipun demikian, kajian ini memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian besar studi yang dikaji bersifat jangka pendek (satu hingga dua musim tanam), sehingga efektivitas jangka panjang dari strategi rehabilitasi belum dapat dievaluasi secara memadai. Selain itu, data ekonomi mengenai biaya rehabilitasi dan nilai tambah komoditas masih sangat terbatas dalam literatur yang tersedia. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada studi longitudinal berdurasi minimal lima tahun, kajian analisis biaya-manfaat, serta monitoring berkala terhadap akumulasi logam berat pada tanah dan jaringan tanaman pangan mengingat implikasinya terhadap keamanan pangan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur terhadap 25 publikasi, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka mengalami degradasi multidimensi yang ditandai oleh dominasi fraksi pasir (>90%), pH masam (4,0–5,2), kandungan C-organik sangat rendah (<1%), dan kapasitas tukar kation kurang dari 5 cmol (+)/kg, sehingga hampir tidak mampu mendukung pertumbuhan tanaman tanpa intervensi.
2. Strategi rehabilitasi yang efektif mencakup kombinasi ameliorasi fisik-kimia (*recontouring*, aplikasi kompos, *biochar* dan dolomit), rekayasa hayati (inokulasi fungi mikoriza arbuskula dan penanaman legum penutup tanah), serta sistem budidaya adaptif berupa tumpangsari legum–singkong. Ketiga, vegetasi pionir seperti Cemara Laut (*Casuarina equisetifolia*) dan Akasia (*Acacia mangium*) efektif pada fase awal rehabilitasi, sedangkan Porang dan rumput Pakchong berpotensi sebagai komoditas bernilai ekonomi tinggi pada fase lanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals — Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Ang, L. H., & Ho, W. M. (2002). Afforestation of tin tailings in Malaysia. Dalam *Proceedings of the 12th International Soil Conservation Organization Conference (ISCO)* (hal. 76–83).
- Ardianto, D. (2015). Karakteristik Morfologi dan Sifat Fisik Kimia Tanah dan Bahan Tailing Pada Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Asmarhansyah, & Hasan, R. (2015). Characteristic of Physical and Chemical Properties of Former-Tin Mining Areas for Crop Production in Bangka Island. Dalam *Prosiding Nasional Sistem Informasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Mendukung Swasembada Pangan* (hal. 181–190). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Asmelash, F., Bekele, T., & Birhane, E. (2016). The Potential Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Restoration of Degraded Lands. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1095. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01095>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. (2024). *Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dalam angka 2024*.
- Erdaswin, F., Rahayu, R., Rosariastuti, R., Dewi, W. S., Herawati, A., Fatimah, F., & Ichsan, N. (2025). The Influence of Age and Management on Soil Physicochemical Properties and Heavy Metal Accumulation in Post-Tin Mining Lands on Bangka Island. *Environment and Natural Resources Journal*, 23(6), 537–551. <https://doi.org/10.32526/enrj/23/20250066>
- Fanni, R., Yoza, D., & Kausar. (2022). Potensi Kesesuaian Jenis Tanaman pada Areal Lahan Pascatambang Timah. *Jurnal Nusa Sylva*, 22(1), 1–12.
- Gunawan, G., & Sari, Y. P. (2021). Analisis Sifat Kimia Tanah Bekas Tambang Timah di Kabupaten Bangka. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 10(2), 176–185.
- Hamid, I., Priyono, S., Oktawan, W., & Hadi, S. P. (2019). Karakterisasi Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(3), 615–624. <https://doi.org/10.29214/jpsl.v9i3.385>

- Ibrahim, I., Haryadi, D., & Wahyudin, N. (2018). From Charm to Squalor: The Vicious Cycle of Tin Mining in Bangka Belitung, Indonesia. *PEOPLE: International Journal of Social Sciences*, 4(1), 360–382. <https://doi.org/10.20319/pijss.2018.41.360382>
- Inonu, I., Khodijah, N. S., & Supriadi, A. (2020). Utilization of Oil Palm Empty Fruits Bunches (OPEFB) Compost for Improvement of Post-Tin Mining Sand Tailings in Shrub Pepper Cultivation. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Laban Suboptimal Ke-8*. Universitas Sriwijaya.
- Inonu, I., Pratama, D., Irwanto, R., & Ningsih, K. U. (2023). Utilization of Post-Tin Mining Land for Porang (*Amorphophallus oncophyllus*) Cultivation by Application of Cow Manure Compost. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(1), 4979–4984. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.111.4979>
- Juarsah, I. (2011). Kondisi Sifat Fisik Tanah dan Lingkungan Pada Lahan Pasca Penambangan Timah di Provinsi Bangka Belitung. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Laban Pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Juarsah, I. (2016). Pemanfaatan Legum Penutup Tanah untuk Perbaikan Kesuburan Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Sumberdaya Laban*, 10(1), 21–30.
- Juarsah, I., Erfandi, D., & Subardja, D. (2017). Status Hara dan Pengelolaan Kesuburan Tanah Bekas Tambang Timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 41(2), 83–100.
- Kurnia, A., & Rohaendi, N. (2022). Identifikasi Logam Berat di Lahan Pasca Tambang Timah di Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Geominerba*, 7(2). <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v7i2.106>
- Lestari, T., Rahmatika, N., Pratama, D., & Sitorus, R. (2025). Application of Different Doses of Nitrogen Fertilizer to Improve the Growth and Yield of Pakchong Grass in Post-Tin Mining Land. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 12(3), 7681–7688. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.123.7681>
- Maftukhah, R., Keiblinger, K. M., Kral, R. M., Ngadisih, N., Murtiningrum, M., Mentler, A., & Hood-Nowotny, R. (2022). Soil Fertility and Centrosema Pubescens Growth on Post-Tin Mining Land Amended with Compost And Biochar. *Agronomy*, 12(9), 2144. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092144>
- Maftukhah, R., Keiblinger, K. M., Ngadisih, N., Murtiningrum, M., Kral, R. M., Mentler, A., & Hood-Nowotny, R. (2023). Post-Tin-Mining Agricultural Soil Regeneration Using Local Organic Amendments Improve Nitrogen Fixation and Uptake in a Legume–Cassava intercropping system. *Land*, 12(5), 1107. <https://doi.org/10.3390/land12051107>
- Moola, S., Munn, Z., Tufanaru, C., Aromataris, E., Sears, K., Sfetcu, R., Mu, P. F. (2020). Systematic Reviews of Etiology and Risk. Dalam E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *JBIMES Manual for Evidence Synthesis*. JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-08>
- Nurtjahya, E., Franklin, J., & Umroh. (2023). *Lahan bekas tambang timah dan pemanfaatannya: Strategi revegetasi dan pemilihan jenis tanaman di Bangka*. UBB Press.
- Nurtjahya, E., Juairiah, L., & Setiadi, D. (2017). Sukses Vegetasi dan Karakteristik Tanah Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(3), 167–173.
- Nurtjahya, E., Setiadi, D., Guhardja, E., Muhadiono, & Setiadi, Y. (2009). Succession on Tin-Mined Land in Bangka Island. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 54(1–2), 131–138. <https://doi.org/10.3767/000651909X476166>
- Pruvot, C., Douay, F., Hervé, F., & Waterlot, C. (2006). Heavy Metals in Soil, Crops and Grass as a Source of Human Exposure Near a Former Smelter. *Journal of Soils and Sediments*, 6, 215–220. <https://doi.org/10.1065/jss2006.10.186>
- Rahayu, R., Erdaswin, F., Rosariastuti, R., Dewi, W. S., Fatimah, F., Herawati, A., & Ichsan, N. (2025). Recovery of Soil Carbon Pools and C–N Stoichiometry Under Drought in Degraded Tin-Mined Soils Using Organic, Inorganic, and Bio-Amendments. *Asian Journal of Agriculture*, 9(2). <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g090248>

- Randrikasari, O. (2024). Teknologi Reklamasi Lahan Bekas Tambang Timah melalui Pemberian Bahan Amelioran dan Pemilihan Jenis Tanaman. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Pertambangan*, 1(1), 29–43. <https://doi.org/10.70191/jplp.v1i1.54894>
- Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 138.
- Republik Indonesia. (2020). *Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 147.
- Sae-Tun, O., Maftukhah, R., Susanto, S., Ngadisih, N., Murtiningrum, M., Hood-Nowotny, R., Mentler, A., & Keiblinger, K. M. (2025). Organic Carbon-Based Amendments Effectively Reclaim Post-Tin Mining Site Via Modified Soil Organic Carbon Characteristics. *Plant and Soil*, 508(1–2), 891–907. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06833-1>
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), Article 13.
- Sitorus, S. R. P., Kusumastuti, E., & Badri, L. N. (2008). Karakteristik dan Teknik Rehabilitasi Lahan Pasca Penambangan Timah di Pulau Bangka dan Singkep. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 27, 57–74.
- Subardja, D., Ritung, S., Anda, M., Sukarman, Suryani, E., & Subandiono, R. E. (2016). *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional* (Ed. revisi). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sukarman, & Gani, R. A. (2017). Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka dan Belitung, Indonesia dan Kesesuaiannya untuk Komoditas Pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 41(2), 101–112.
- Sukarman, & Gani, R. A. (2020). Karakteristik Tanah dan Strategi Pengelolaan Hara pada Lahan Tailing Pascatambang Timah di Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 44(2), 93–104.
- Sukarman, Gani, R. A., & Asmarhansyah. (2020). Tin Mining Process and its Effects on Soils in Bangka Belitung Islands Province, Indonesia. *Sains Tanah – Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 180–189. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i2.37606>
- Suryati, T. (2017). Studi Fungi Mikoriza Arbuskula di Lahan Pasca Tambang Timah Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(1), 99–106.
- Sutono, S., Nurida, N. L., & Juarsah, I. (2020). Karakteristik Tanah dan Strategi Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(2), 99–110.
- Widyati, E. (2011). Potensi Tumbuhan Bawah sebagai Akumulator Logam Berat untuk Membantu Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. *Mitra Hutan Tanaman*, 6(2), 46–56.