



MMSGI

2025



INOVASI PENGELOLAAN LAHAN PASCA TAMBANG MELALUI AGRO INDUSTRI: MODEL KEBERLANJUTAN DI KALIMANTAN TIMUR

KETUA

Rusmini, S.P., M.P

ANGGOTA

La Mudi, S.P., M.P.

Zainal Abidin, S.ST., M.P.

Andi Lelanovita Sari, S.P., M.P.

RINGKASAN EKSEKUTIF

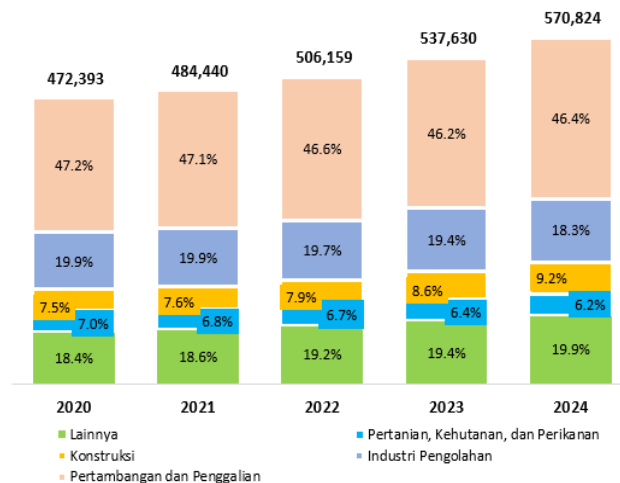
Keberhasilan ekonomi Kalimantan Timur (Kaltim) selama dua dekade terakhir didorong oleh sektor pertambangan, menjadikan provinsi ini salah satu kontributor Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) harga konstan terbesar di luar Jawa dan Sumatera dengan kontribusi nasional pada tahun 2024 sebesar 4,4% (BPS, 2025). Masyarakat Kalimantan Timur memiliki ketergantungan yang cukup besar pada pekerjaan di sektor pertambangan serta jasa pendukungnya. Berdasarkan data Dinas ESDM Provinsi Kalimantan Timur, lebih dari 4 juta Ha lahan tambang tersebar di provinsi Kalimantan Timur, serta ~2.700 lubang tambang aktif masih terbuka hingga tahun 2024. Lahan bekas tambang yang ditinggalkan, seringkali berupa cekungan dalam dan tanah yang terdegradasi secara kimia, menimbulkan isu-isu mengenai pergeseran ekonomi dan lingkungan (*environment and economic displacement*). Untuk mengatasi hal ini, pengembangan agroindustri di lahan pascatambang dapat menjadi salah satu strategi transisi ekonomi yang penting bagi Kalimantan Timur.

Model pengembangan agroindustri dalam whitepaper ini memadukan metode pemulihan biofisik lahan melalui rekayasa lahan, ameliorasi, bioremediasi, dan revegetasi dengan penguatan pasar berbasis komunitas. Untuk memastikan pengembangan agroindustri menghasilkan dampak jangka panjang, whitepaper ini mengadopsi pendekatan *Market System Development* (MSD) untuk memperkuat rantai nilai dan peran multipihak secara sistemik, serta menggunakan *Theory of Change* (ToC) untuk memetakan jalur perubahan dari input hingga dampak. Evaluasi keberhasilan intervensi dilakukan melalui *Sustainable Livelihood Framework* (SLF) yang mengukur peningkatan kapasitas dan aset penghidupan masyarakat, serta *Social Return on Investment* (SROI) yang mengkuantifikasi nilai sosial-ekonomi yang tercipta. Kombinasi pendekatan ini memastikan bahwa agroindustri pascatambang tidak hanya memenuhi kewajiban reklamasi, tetapi juga mendukung diversifikasi ekonomi lokal, peningkatan pendapatan, dan penguatan kelembagaan desa secara berkelanjutan.

Tambang Batubara dan Ekonomi Kalimantan Timur

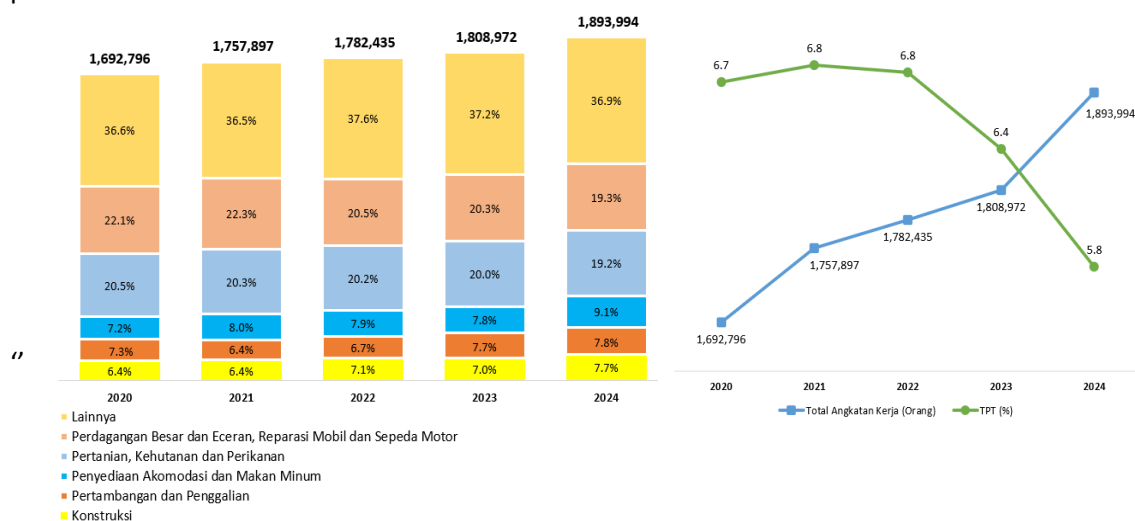
Sektor pertambangan batubara merupakan salah satu penopang utama devisa nasional dan Kaltim. Selama 2024, Kaltim menyumbang 33,65% dari total ekspor nasional (BPS, 2025), menjadikannya daerah dengan kontribusi ekspor terbesar di Indonesia. Batubara mendominasi ekspor dengan kontribusi 89,37% dari total ekspor pertambangan atau setara 70% dari ekspor provinsi.

Kontribusi sektor Pertambangan dan Penggalian terhadap PDRB Provinsi Kaltim mencapai 34,11%, jauh melampaui sektor-sektor lainnya (BPS Kaltim, 2025). Kondisi ini membuat perekonomian Kaltim rentan terhadap fluktuasi industri batubara, sehingga mendorong perlunya strategi diversifikasi ekonomi untuk memperkuat ketahanan ekonomi jangka panjang (BPS Kaltim, 2025).



Gambar 1. PDRB Provinsi Kalimantan Timur Atas Dasar Harga Konstan 2010 Menurut kategori dan Lapangan Usaha (Miliar Rupiah), Sumber: BPS Kaltim, 2025

Pada tahun 2024, jumlah penduduk bekerja di Kaltim mencapai 1.893.994 orang, menunjukkan peningkatan kapasitas penyerapan tenaga kerja dan didukung oleh penurunan Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) menjadi 5,8%, terendah dalam lima tahun terakhir. Struktur ketenagakerjaan pada tahun ini didominasi oleh tiga sektor utama, yaitu Perdagangan Besar dan Eceran, Reparasi Mobil dan Sepeda Motor sebesar 19,3%, diikuti Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan sebesar 19,2%, serta Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum yang menyerap 9,1% tenaga kerja. Menariknya, sektor Pertambangan dan Penggalian hanya menyerap 7,8% tenaga kerja, menunjukkan perannya yang relatif kecil dalam penciptaan lapangan pekerjaan.

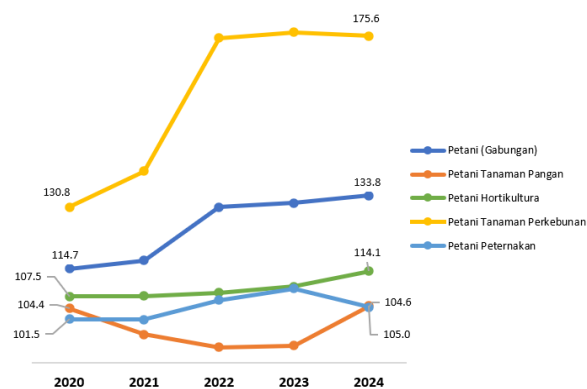


Gambar 2. Penduduk Berumur 15 Tahun Keatas yang Bekerja Selama Seminggu Terakhir Provinsi Kalimantan Timur dan Lapangan Pekerjaan Utama (Orang), Sumber: BPS Kaltim, 2025

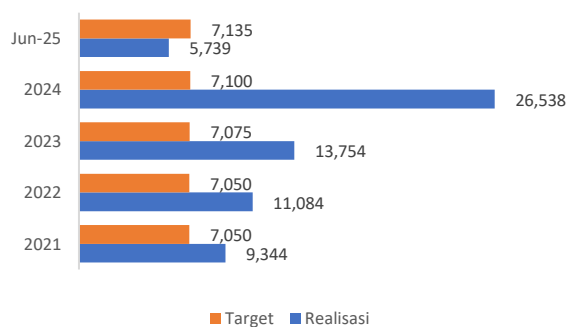
Gambar 2. Tingkat Pengangguran Terbuka Provinsi Kalimantan Timur, Sumber: BPS Kaltim, 2025

Kombinasi peningkatan jumlah pekerja, penurunan TPT, dan struktur ekonomi yang semakin beragam menunjukkan bahwa perekonomian Kaltim terus bergerak menuju stabilitas, meskipun ketergantungan terhadap sektor pertambangan masih sangat kuat dari sisi kontribusi PDRB.

Di tengah dominasi ekonomi pertambangan, tren Nilai Tukar Petani (NTP) menunjukkan perkembangan yang semakin positif. NTP gabungan juga naik dari 114,7 pada 2020 menjadi 133,8 pada 2024, memperlihatkan penguatan menyeluruh di sektor pertanian. Perkembangan ini memberikan gambaran bahwa sektor pertanian telah menunjukkan ketahanan dan potensi ekonomi yang semakin kuat. Penguatan NTP ini menunjukkan bahwa sektor pertanian memiliki fondasi ekonomi yang solid, sehingga diversifikasi dari pertambangan menuju pertanian atau agroindustri dapat menjadi salah satu arah transformasi ekonomi Kalimantan Timur.



Gambar 3. Indeks Nilai Tukar Petani Provinsi Kalimantan Timur Menurut Subsektor, Sumber: BPS Kaltim, 2025



Gambar 5. Realisasi dan Target Reklamasi Tambang 2021 – Juni 2025, (Ha); Sumber: www.bloombergtechnoz.com/detail-news/81892/reklamasi-lahan-bekas-tambang-per-juni-capai-80-dari-target-2025

Terdapat penurunan kegiatan yang signifikan ketika sebuah tambang memasuki fase pascatambang dimana umumnya terdapat dampak lingkungan dan ekonomi masyarakat (*environment and economic displacement*). Kerangka regulasi reklamasi dan pascatambang telah diatur dalam UU No. 3/2020 (perubahan UU Minerba) dan Permen ESDM No. 26/2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik (termasuk ketentuan reklamasi dan pascatambang) telah mengatur hal ini dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mewujudkan transisi energi yang adil.

Dari 2021 hingga Juni 2025, realisasi reklamasi tambang di Indonesia, termasuk di Kaltim, mencapai 66.459 Ha, hampir 2 kali lipat dari target reklamasi yang ditentukan oleh Dirjen Mineral dan Batubara Kementerian ESDM sebesar 35.410 Ha. Dilihat dari tahun ke tahun, terdapat peningkatan pencapaian realisasi area tambang yang direklamasi dimana hal ini menunjukkan bahwa terdapat potensi pemanfaatan lebih lanjut lahan pascatambang, terutama di Kaltim.

Lahan pascatambang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai agroindustri melalui pengelolaan dengan pendekatan ilmiah dan rekayasa lahan yang tepat. Berbagai teknik dapat memulihkan kesuburan tanah sehingga memungkinkan pengembangan komoditas spesifik lokasi, seperti hortikultura, tanaman energi, silvopastura, perikanan kolam bekas tambang, dan agroforestri berbasis tanaman cepat tumbuh.

Transformasi lahan pascatambang berpotensi menciptakan nilai tambah melalui pembentukan sentra agroindustri yang menciptakan lapangan kerja. Dengan perencanaan reklamasi yang kuat, pemulihan ekologis yang terukur, dan dukungan kebijakan pemerintah, lahan pascatambang di Kaltim dapat berkembang menjadi basis agroindustri modern untuk diversifikasi ekonomi daerah dalam rangka transisi energi yang adil dan berkelanjutan.

Tantangan Pascatambang

Hasil beberapa penelitian menunjukkan reklamasi lahan bekas tambang belum sepenuhnya merestorasi tanah, terjadi penurunan produktivitas tanah, erosi, sedimentasi, gangguan flora-fauna, pergeseran tanah (longsor), dan perubahan iklim mikro di lahan bekas tambang (Bahalan & Sujiman, 2020).

Isu kondisi tanah pascatambang batubara secara umum (Pramaditya, D. A. dan Nilawati, (2022)) dijabarkan pada tabel 1. di bawah ini :

Tabel 1. Kondisi pascatambang dengan parameter ideal dan Dampaknya

Parameter	Kondisi Pascatambang		Parameter Ideal	Dampak
	Usia lahan			
	1 Tahun	3 Tahun		
Pramaditya, D. A. dan Nilawati, (2022).			Standar Pusat Penelitian Tanah (PPT) 1995	
pH	5,17 (MS)	5,46 (MS)	6-7	Risiko pembentukan Acid Mine Drainage (AMD), unsur hara sulit diserap tanaman
KTK (%)	23,2 (S)	25,1 (S)	>40	Tanah tidak mampu menyimpan unsur hara sehingga pupuk mudah hilang karena tercuci, tanaman akan mudah kekurangan N, P, dan K meskipun diberi pupuk dan pertumbuhan akar terbatas
C-Organik (%)	0,99 (SR)	1,34 (R)	>3	Tanah menjadi keras/padat, permeabilitas rendah, aktivitas mikroba tanah sangat rendah akibat proses dekomposisi dan pelepasan nutrisi lambat, tanah cepat kering, dan daya agregat tanah buruk
N-total (%)	0,08 (SR)	0,16 (R)	>0,50	Tanaman mengalami kekurangan nitrogen,daun menguning, pertumbuhan lambat, biomassa tanaman kecil dan mikroorganisme tanah tidak berkembang karena kurang sumber protein
P-total (%)	2,06 (SR)	15,3 (R)	>0,15 atau Ptersedia >30 ppm	Akar tanaman sulit tumbuh dan memanjang, efisiensi fotosintesis turun, dan menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena pH yang asam
K-total (%)	6,04 (SR)	18,8 (R)	>0,50 atau Ktersedia >0,40 me/100g	Tanaman rentan rebah, stress air, dan penyakit, penyerapan air kurang optimal, pertumbuhan buah dan biji tidak maksimal
Kejenuhan Basa (%)	13,3 (SR)	26,5 (R)	>80	Tanah menjadi sangat masam, memperburuk resiko AMD, unsur Ca, Mg dan K tidak tersedia bagi tanaman, Al dan Fe menjadi toksik karena akan meracuni akar, struktur tanah menjadi rapuh dan mudah padat
Bulk density (g/cm3)	1,49 (SM)	1,53 (SM)	<1,2	Tanah padat, infiltrasi air rendah, akar sulit berkembang

Permeabilitas (cm/jam)	1,86 (L)	1,6 (AL)	2,5-25	Air sulit meresap kedalam tanah, sering terjadi genangan di permukaan, oksigen tanah rendah, perakaran dangkal karena tanah keras dan padat, mikroba aerob sulit untuk hidup
Kemantapan agregat (%)	16 (TM)	36,8 (TM)	>60	Tanah mudah hancur saat terkena air, erosi tinggi, tanah cepat menjadi padat, infiltrasi air rendah, akar sulit berkembang
Tekstur - Pasir (%)	23,8	11,8	20 - 50	Air cepat hilang, tanaman cepat kering, pupuk mudah tercuci COrganik cepat mineralisasi
Tekstur - Debu (%)	35,5	59,7	20 - 50	Tanah mudah padat, aerase buruk, rentan erosi saat hujan, akar kekurangan oksigen
Tekstur - Liat (%)	40,6	28,3	20 - 30	Tanah sangat padat dan k-eras saat kering, drainase buruk, permeabilitas rendah dan KTK tinggi tetapi mampu menyimpan unsur hara seperti K, Ca dan Mg
Pramaditya, D. A. dan Nilawati, (2022).			Standar Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), 2019	
Akumulasi Logam Berat – Pb	26,67 – 93,77 mg/kg		<70 mg/kg	Toksisitas tanaman tinggi serta risiko paparan bagi manusia
Akumulasi Logam Berat – Cd	0,24 – 2,71 mg/kg		<1 mg/kg	Toksisitas tanaman tinggi serta risiko paparan bagi manusia
Akumulasi Logam Berat – Fe	>20.000 mg/kg		<3.000 mg/kg	Toksisitas tanaman tinggi serta risiko paparan bagi manusia

Keterangan :

SM/S/M/SR/R/T : Sangat mampat/ Sedang/ Mampat/ Sangat rendah/ Rendah/

Tinggi ; L/AL/MS : Lambat/ Agak Lambat/ Masam ;

TM/AM/KM : Tidak mantap/ Agak mantap/ Kurang mantap.

Pada umumnya terdapat pergeseran ekonomi masyarakat lokal yang signifikan pada fase pascatambang. Dampak penutupan tambang dapat mengakibatkan putusannya rantai ekonomi masyarakat yang diakibatkan dari penurunan aktivitas, meningkatkan pengangguran dan penurunan pendapatan rumah tangga. Hal ini berujung pada melemahnya daya beli masyarakat serta stabilitas sosial. Pemerintah Daerah juga mengalami dampak akibat berkurangnya kontribusi tambang terhadap Pendapatan Asli Daerah (PAD).

Diperlukan kerangka pengelolaan lahan pascatambang yang inovatif dan komprehensif untuk transisi energi yang adil mencakup aspek legal, teknis (rekayasa tanah), sosio-ekonomi (potensi pasar dan keterlibatan masyarakat dalam rantai nilai), dan institusionalisasi (tata kelola entitas ekonomi lokal) sehingga lahan bekas tambang dapat pulih dan berkontribusi pada pembangunan di Kaltim untuk transisi ekonomi masyarakat yang berkelanjutan.

Kerangka Legal Rehabilitasi Lahan Pascatambang

Perusahaan tambang memiliki kewajiban untuk melakukan pengelolaan lingkungan, termasuk reklamasi dan pascatambang sebagai bagian integral dari operasi pertambangan sesuai dengan regulasi yang berlaku di Indonesia. Regulasi-regulasi ini dirancang untuk memastikan dampak ekologis dan sosial ekonomi dapat diminimalkan dan dipulihkan sehingga kawasan tersebut dapat kembali dimanfaatkan secara aman dan berkelanjutan. Beberapa regulasi terkait dengan reklamasi dan pascatambang dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Regulasi Pokok Pengaturan Terkait Reklamasi & Pascatambang

Regulasi	Pokok Pengaturan Terkait Reklamasi & Pascatambang
UU No. 2 Tahun 2025 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (pengganti UU No. 4 Tahun 2009)	- Kewajiban pelaksanaan reklamasi dan pascatambang oleh pemegang IUP/IUPK sebagai bentuk pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik serta sanksi jika tidak melaksanakan kewajiban - Penyediaan dan penempatan dana jaminan reklamasi dan pascatambang oleh pemegang IUP/IUPK. - Kewajiban pengawasan oleh pemerintah dan pelibatan pemerintah daerah dalam memastikan pemenuhan reklamasi/pascatambang. - Penunjukan pihak ketiga untuk melaksanakan reklamasi/pascatambang dengan dana jaminan jika pemegang izin tidak melaksanakan kewajiban. - Kewajiban pelaksanaan Program Pengembangan dan Pemberdayaan Masyarakat (PPM) yang juga mendukung pemulihan sosial-ekonomi pascatambang.
PP No. 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang (turunan UU No. 2 Tahun 2025)	- Kewajiban pelaksanaan reklamasi dan pascatambang oleh pemegang IUP/IUPK dan sanksi jika tidak melaksanakan kewajiban - Tata cara penyusunan, persetujuan, pelaksanaan dan pelaporan rencana dan kegiatan reklamasi dan pascatambang - Persyaratan jaminan reklamasi dan jaminan pascatambang.
PP No. 39 Tahun 2025 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (Pengganti PP 96/2021)	- Kewajiban pemegang IUP/IUPK untuk menyelesaikan seluruh kewajiban, termasuk reklamasi dan pascatambang, dalam hal izin berakhir, dicabut, pengajuan perpanjangan dan pencutan. - Pengaturan peralihan dan tata ruang yang memastikan penyelesaian kewajiban pemulihan lingkungan sebelum penutupan tambang.
Permen ESDM No. 26 Tahun 2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Mineral dan Batubara (turunan PP 78/2010)	- Reklamasi dan pascatambang merupakan bagian dari kewajiban pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik yang harus dipenuhi oleh seluruh pemegang IUP/IUPK. - Kewajiban penyusunan rencana reklamasi dan pascatambang sebelum kegiatan operasi dimulai - Kewajiban penempatan jaminan reklamasi dan jaminan pascatambang sebagai bentuk kepastian pendanaan pelaksanaan pemulihan lingkungan - Kewajiban penyampaian laporan pelaksanaan reklamasi dan pascatambang kepada instansi yang berwenang - Inspektur Tambang berwenang untuk mengawasi pelaksanaan reklamasi dan pascatambang sesuai dengan rencana yang telah disetujui dan standar kaidah pertambangan yang baik - Sanksi administratif jika reklamasi/pascatambang tidak dilaksanakan
Kepmen ESDM No. 1827.K/30/MEM/2018 (Lampiran VI – Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik)	- Pedoman pengelolaan teknis pertambangan yang mencakup unsur-unsur kegiatan pascatambang, termasuk penataan area bekas tambang. - Pedoman teknis dalam memastikan stabilitas area tambang dan pascatambang melalui pemantauan geoteknik, dan pengelolaan material tambang (<i>overburden/interburden, in-pit dumping</i>)

	• Rencana teknis pertambangan, termasuk reklamasi dan pascatambang, wajib disusun dan diverifikasi oleh tenaga teknis pertambangan yang kompeten • Mekanisme penilaian kinerja pelaksanaan program teknis pertambangan, termasuk pascatambang, melalui evaluasi internal dan verifikasi pemerintah
Kepmen ESDM No. 344.K/MB.01/MEM.B/2025 tentang Pedoman Teknis Pelaksanaan Reklamasi dan Pascatambang pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara	• Kewajiban menyusun dokumen rencana reklamasi untuk jangka waktu 5 tahun sebelum eksplorasi • Standarisasi biaya reklamasi darat dan laut periode 2025 – 2030 • Kewajiban kriteria keberhasilan pascatambang terpenuhi 100% untuk pencairan jaminan dan mekanisme perpanjangan jika belum tercapai • Penunjukan pihak ketiga sebagai pelaksana reklamasi dan/atau pascatambang jika pemegang IUP/IUPK tidak memenuhi kewajiban • Penetapan format rencana reklamasi dan rencana pascatambang sesuai karakteristik daerah untuk komoditas mineral bukan logam atau batuan
Permen Kehutanan No. P.60/Menhut-II/2009 tentang Pedoman Penilaian Keberhasilan Reklamasi Hutan	• Pedoman reklamasi untuk kegiatan pertambangan di area hutan • 3 komponen utama keberhasilan reklamasi: penataan lahan, pengendalian erosi & sedimentasi, revegetasi • Standarisasi kriteria keberhasilan dan metode penilaian reklamasi • Penilaian dilakukan oleh Tim Provinsi dan Tim Pusat dan hasil penilaian digunakan untuk dasar perpanjangan atau pengembalian izin pinjam pakai Kawasan hutan

Setiap perusahaan tambang wajib memenuhi *compliance*, tapi dapat juga menargetkan untuk mencapai *beyond compliance*, yaitu melampaui sekadar kepatuhan terhadap regulasi. Salah satu cara untuk mencapai *beyond compliance* adalah melalui penerapan analisa teknis rehabilitasi tanah dan pasar komoditas potensial yang dikembangkan dengan *Market System Development* (MSD) dan diukur dengan metrik yang tepat seperti *Social Return on Investment* (SROI) dan *Sustainable Livelihood Framework* (SLF).

Pendekatan ini mendorong perusahaan untuk berfokus lebih dari pemulihan lahan, tetapi juga membangun rantai nilai berbasis masyarakat yang berkelanjutan di lahan pascatambang sehingga meminimalkan dampak lingkungan dan pergeseran ekonomi.

Analisis Teknis Rehabilitasi Lahan Pascatambang

Analisa awal lahan diperlukan untuk memahami keadaan fisik dan kimia sebagai basis untuk tindakan lebih lanjut. Dalam sebuah studi pascatambang, setelah 5 dan 10 tahun revegetasi, ditemukan *organic matter*, nitrogen dan pH rendah (asam) serta kandungan logam tinggi seperti Fe dan Al (Hermasnyah et al., 2021; Ramadhan et.al., 2022; Hafsari et.al., 2022; Gunawan et.al., 2023). Di Kaltim (site Berau), karbon organik tanah di lahan pascatambang sangat rendah sesaat setelah tambang, tetapi meningkat seiring revegetasi (Hartati & Sudarmadji, 2022). Dalam sebuah studi reklamasi lokal di Kaltim, karakter tanah bekas tambang (pH) sangat asam (mis. 4,26 – 4,63) sehingga dibutuhkan penggunaan kapur sebagai amelioran (Fahmi et al., 2022).

Pemulihan kondisi tanah pascatambang memerlukan waktu dan proses bertahap. Secara umum, terdapat 3 tahapan utama untuk pemulihan kondisi tanah pascatambang. Ketiga tahapan ini tidak dapat dipisahkan karena membentuk rantai pemulihan tanah yang komprehensif dan berkelanjutan (Setiawan et al., 2024; Hartati & Pranowo, 2023).

1. Persiapan & Pengkondisian Fisik Lahan

Tahap pertama mencakup penataan fisik lahan untuk memastikan stabilitas geoteknik, keselamatan lingkungan, dan kesiapan tanah untuk menerima perlakuan lebih lanjut. Proses ini meliputi grading dan recontouring permukaan tanah, penataan lereng, pengaturan drainase permukaan, dan penimbunan kembali (*backfilling*) dengan material penutup (*overburden*) yang sesuai. Pengembalian atau penyebaran lapisan tanah atas (*topsoil replacement*) menjadi elemen krusial karena *topsoil* mengandung bahan organik, mikroorganisme, dan benih alami yang penting bagi pemulihan ekosistem lahan.

Keberhasilan tahap ini meningkatkan permeabilitas dan kapasitas tanah menahan air, sekaligus memperbaiki struktur tanah yang rusak akibat pemindahan *overburden* (Sutono et al., 2024). Selain itu, pengkondisian lahan bertujuan untuk mencegah pembentukan AMD melalui rekayasa drainase dan pelapisan material non-sulfida (Widyati et al., 2023).

2. Ameliorasi Kimia & Bioremediasi

Tahap kedua berfokus pada perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah untuk meningkatkan kesuburan dan mengurangi toksisitas. Penambahan bahan organik, seperti kompos, biochar, dan pupuk kandang terbukti meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK), meningkatkan karbon organik, serta memperbaiki retensi nutrisi (Gunawan et al., 2024).

Untuk meningkatkan pH tanah asam pascatambang, perbaikan kimia seperti kapur (*liming*) adalah pendekatan yang umum (Fahmi et al., 2022). Penelitian lain (di lahan tambang non-Kaltim) menunjukkan bahwa revegetasi bersama *cover crops* dapat memperbaiki saturasi basa, KTK, dan menurunkan saturasi aluminium (Widjaja & Suryaningtyas, 2024).

Untuk dekontaminasi logam berat, bioremediasi melalui tanaman stabilisator (*phytostabilization*) atau akumulator, bersama mikroba, misalnya *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)/mikoriza, adalah strategi efektif. Kajian terbaru juga menekankan efektivitas pendekatan, *phytostabilization* menggunakan tanaman pionir untuk menahan mobilitas logam berat pada fase awal remediasi (Hidayati & Rahmawati, 2024).

Selain penggunaan bahan amelioran dalam reklamasi tambang, fitoremediasi juga dapat dimanfaatkan untuk mengatasi pencemaran logam berat pada lahan pascatambang batubara akibat Air Asam Tambang (AAT). Fitoremediasi adalah strategi pemulihan lahan dan air pascatambang yang tercemar logam berat—seperti akibat AAT—dengan menggunakan tanaman untuk menurunkan tingkat toksisitas kontaminan melalui penghancuran, inaktivasi, atau imobilisasi. Teknologi ini mencakup beberapa proses, antara lain fitostabilisasi (mengikat logam di akar), fitoekstraksi (menyerap dan menimbun logam di tajuk), dan fitovolatilisasi (melepaskan kontaminan dalam bentuk gas). Efektivitas fitoremediasi sangat bergantung pada penggunaan tanaman hiperakumulator, yaitu tanaman yang memiliki karakteristik kunci: tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi, memiliki laju penyerapan yang lebih tinggi, serta mampu menimbun dan mentranslokasi logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi (Hidayat, 2005 ; Suwardi, et.al. 2025). Berikut daftar tanaman yang dapat dijadikan sebagai tanaman hiperakumulator untuk fitoremediasi dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 3. Jenis kontaminan dan Jenis Tumbuhan sebagai Hiperakumulator

Jenis Kontaminan	Jenis Tumbuhan	Sumber Literatur
Zn (seng)	<i>Amaranthus</i> spp., <i>Noccaea caerulescens</i> , <i>Tithonia diversifolia</i> (tithonia), <i>Alyssum bertolonii</i>	(Jacobs <i>et al.</i> , 2018; Ogunremi <i>et al.</i> , 2024; Robinson <i>et al.</i> , 1997; Zhou <i>et al.</i> , 2024)
Cd (kadmium)	<i>Potamogeton crispus</i> L., <i>Spergularia rubra</i> , <i>Brassica juncea</i>	(Cheng <i>et al.</i> , 2024; Matecka <i>et al.</i> , 2019; Medina-Díaz <i>et al.</i> , 2024)
Pb (timbal)	<i>Solanum nigrum</i> , <i>Brassica juncea</i>	(Bortoloti & Baron, 2022; Yu <i>et al.</i> , 2015)
Co (kobalt)	<i>Alyssum murale</i> , <i>Alyssum bertolonii</i>	(Konakci <i>et al.</i> , 2023; Malik <i>et al.</i> , 2000; Robinson <i>et al.</i> , 1997)
Cu (tembaga)	<i>Eichhornia crassipes</i> (eceng gondok), <i>Euphorbia macroclada</i> , <i>Jatropha curcas</i> (jarak pagar), <i>Amaranthus</i> spp., <i>Pistia stratiotes</i>	(Chang <i>et al.</i> , 2014; Chehregani <i>et al.</i> , 2009; Dorsey <i>et al.</i> , 2013; Goswami & Das, 2018; VZ Novita <i>et al.</i> , 2019; Zhou <i>et al.</i> , 2024)
Mn (mangan)	<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Phytolacca americana</i>	(DeGroote <i>et al.</i> , 2017; Song <i>et al.</i> , 2022)
Ni (nikel)	<i>Alyssum lesbiacum</i> , <i>Noccaea caerulescens</i> , <i>Streptanthus polygaloides</i>	(Robinson <i>et al.</i> , 1997)
Cs (sesium)	<i>Salix</i> spp. (pohon willow), <i>Amaranthus</i>	(Cao <i>et al.</i> , 2022; Lasat <i>et al.</i> , 1998)
As (arsen)	<i>Pteris vittata</i> (paku arsenik)	(Yan <i>et al.</i> , 2019)
Se (selenium)	<i>Stanleya pinnata</i> , <i>Astragalus</i> spp.	(Bhat <i>et al.</i> , 2022; Parker <i>et al.</i> , 2003)
Fe (besi)	<i>Spinacia oleracea</i> (bayam), <i>Eichhornia crassipes</i> (eceng gondok), <i>Echinodorus palaeifolius</i> (melati air), <i>Eleocharis dulcis</i> (purun tikus)	(Hasani <i>et al.</i> , 2021; Irshad <i>et al.</i> , 2024; Juswardi <i>et al.</i> , 2023; Sari <i>et al.</i> , 2019)
Hg (merkuri)	<i>Avicennia alba</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> (eceng gondok)	(Odjegba & Fasidi, 2007; Qonita <i>et al.</i> , 2021)

3. Revegetasi (Tahap Awal & Lanjut)

Revegetasi awal bertujuan mempercepat stabilisasi tanah, mengurangi erosi, dan menciptakan kondisi iklim mikro yang mendukung perkembangan organisme tanah. Tanaman pionir (legum, pohon cepat tumbuh) sangat penting sebagai tahap awal seperti trembesi, kaliandra, turi, dan sengon karena toleransinya dan potensi rehabilitasi tanah (Rachmawati & Sartika, 2023).

Setelah kondisi tanah membaik, revegetasi lanjutan melibatkan spesies yang lebih bernilai ekonomi seperti tanaman atsiri, tanaman kehutanan cepat tumbuh, hingga tanaman agroindustri. Kombinasi revegetasi bertingkat dapat mempercepat pemulihan biodiversitas tanah dan mengembalikan fungsi hidrologis lahan pascatambang (Ramdhan *et al.*, 2024).

Studi di lahan pascatambang batubara di Bengkulu menunjukkan bahwa densitas tanah menurun, porositas meningkat, dan kandungan karbon organik naik setelah 5 dan 10 tahun revegetasi eucalyptus (*Melaleuca cajuputi*) (Putri *et al.*, 2022). Pada lahan pascatambang di

Sawahluto (Sumatera), jenis tanaman tertentu meningkatkan makro-fauna tanah yang penting bagi kesuburan jangka panjang (Emalinda et al., 2025).

Analisis Pemetaan Peluang Agroindustri di Kalimantan Timur

Komoditas agroindustri sangat beragam, namun tidak semua komoditas agroindustri kompatibel dengan kondisi biofisik lahan pascatambang. Pemetaan kompatibilitas komoditas berdasarkan prinsip biofisik tanah seperti pH masam, tingkat adaptabilitas tanaman pada bahan organik rendah, kekuatan sistem akar, dan tingkat respon tanaman terhadap ameliorasi perlu dilakukan sebelum pemetaan peluang ekonomi komoditas. Pendekatan ini sejalan dengan kerangka FAO (2022) yang menegaskan bahwa keberhasilan sistem produksi pada lahan marginal sangat ditentukan oleh kecocokan agronomis tanaman terhadap karakteristik tanah dan kebutuhan input teknis seperti ameliorasi dan pupuk organik. Dirangkum dari berbagai sumber, berikut beberapa komoditas agroindustri yang memiliki potensi untuk dikembangkan di lahan pascatambang:

Tabel 4. Kondisi Tanah Tambang dengan Komoditas yang Kompatibel

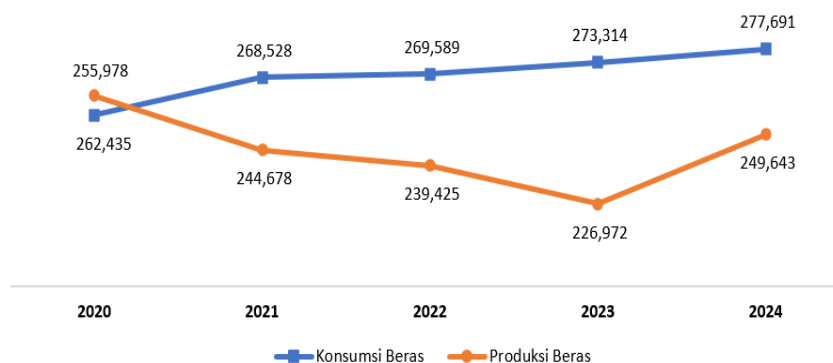
Kondisi tanah pascatambang	Komoditas yang kompatibel	Kategori Komoditas	Prasyarat	Sumber Literatur
pH (5,8) COrganik 1,03% Ntotal 0,11% C/N 9,24 Ptersedia 6,66 ppm Ktersedia 35,18 ppm (Palupi, et.al., 2000) Liat (%) 17,74 Debu (%) 8,68 Pasir (%) 61,46 (Zainudin dan Kesumaningwati, 2021) Ca ²⁺ 4,18 Meq/100 g Mg ²⁺ 10,92 Meq/100 g Na ²⁺ 0,76 Meq/100 g Al ³⁺ 0,00 Meq/100 g Kejenuhan basa 96,58 % Kejenuhan Al 0,00 % (Rahman, et.al., 2021)	Cabai	Hortikultura	Input pupuk organik	Elmiah, et.al., 2025., Afandi dan Prasetya 2022, Luthfiah, et.al., 2025
	Karet	Perkebunan	Input pupuk kandang dan kapur	Sujiman, et.al., 2011
	Jarak pagar, Lamtoro gung, Jambu mete	Perkebunan	Input kompos	Rahman, et.al., 2021
	Nenas	Hortikultura	Input pupuk anorganik dan mulsa	Lestari, et.al., 2020
	Sengon	Forestri	Input tanah top soil	Budiana, et.al., 2017 Thamrin, 2017., Saputra, 2018, Muksin, Y.M., 2021
	Terembesi	Forestri	Input pupuk organik	Budiana, et.al., 2017 Thamrin, 2017.,
	Melon	Hortikultura	-	Maryani, et.al., 2014
	Akasia, mahoni, Lamtoro, Tanjung, kayu putih	Forestri	Input kompos	Lestari, 2022 Juliarti, 2023
	Kelapa sawit	Perkebunan	-	Lestari, 2022
	Jati	Forestri	-	Lestari, 2022
	Terong	Hortikultura	Input kompos	Suwardih, 2019
	Ubi jalar	Pangan	Top soil dan kompos	Herliana, et.al., 2021, Sawranto dan Tuswati, 2020
	Padi gogo	Pangan	Input mikoriza dan pupuk anorganik	Nazirah, et.al.2022 Harahap dan Siagian, 2004

	Jagung	Pangan	Input Pupuk anorganik NPK dan kapur dolomit	Ramayana, et.al., 2021
--	--------	--------	---	------------------------

Potensi ekonomi mengacu pada beberapa faktor utama seperti permintaan - pasokan (lokal maupun nasional), fluktuasi harga komoditas, potensi keuntungan berdasarkan analisis usaha tani, dan potensi pengolahan komoditas lanjutan. Sebagai contoh di Kaltim, terdapat dua komoditas yang berpotensi untuk dikembangkan pada lahan pascatambang, yaitu hortikultura dan beras yang menunjukkan defisit produksi sehingga memiliki potensi pasar lokal. Top 10 Komoditas Sayur dan Buah dengan Gap Terbesar di Kalimantan Timur 2024 dan perbandingan produksi dan konsumsi Beras Kalimantan Timur 2020-2025 (BPS Kaltim, 2025) dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini :

Tabel 5. Top 10 Komoditas Sayur dan Buah dengan Gap Terbesar di Kalimantan Timur 2024

No	Komoditas Sayur	Produksi (Ton)	Konsumsi (Ton)	Gap (ton)	No	Komoditas Buah	Produksi (Ton)	Konsumsi (Ton)	Gap (ton)
1	Bayam	4,508.0	13,079.1	-8,571.1	1	Rambutan	14,350.4	18,010.6	-3,660.2
2	Kangkung	8,382.5	15,437.7	-7,055.2	2	Durian	10,856.0	12,864.7	-2,008.7
3	Cabai keriting	3,579.7	7,290.0	-3,710.3	3	Melon	785.1	2,106.0	-1,320.9
4	Terung	8,264.3	11,578.2	-3,313.9	4	Semangka	10,115.7	11,363.8	-1,248.1
5	Kacang panjang	5,203.4	8,147.7	-2,944.2	5	Nangka	25,638.2	n/a	n/a
6	Cabai rawit	6,058.3	8,790.9	-2,732.6	6	Buah naga	24,682.9	n/a	n/a
7	Tomat	6,294.8	8,576.5	-2,281.6	7	Jambu biji	8,395.6	1,500.9	6,894.7
8	Buncis	2,730.2	3,859.4	-1,129.2	8	Salak	24,045.6	8,362.1	15,683.6
9	Petsai / sawi	5,573.8	4,931.5	642.3	9	Pepaya	33,493.4	13,079.1	20,414.3
10	Ketimun	8,816.6	7,933.2	883.3	10	Pisang	194,651.5	26,587.1	168,064.5



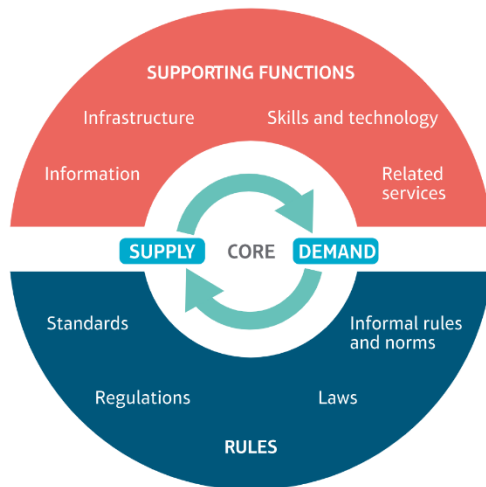
Gambar 6. Total Produksi dan Konsumsi Beras Provinsi Kalimantan Timur, Sumber: BPS Kaltim 2025

Di samping pemetaan supply-demand, evaluasi peluang agroindustri juga memerlukan analisis usaha tani untuk menilai kelayakan finansial komoditas. Analisis ini meliputi biaya produksi, penerimaan, pendapatan, serta indikator kelayakan seperti R/C (*Revenue-Cost*) ratio, B/C (*Benefit-Cost*) ratio, dan *Break Even Point* (BEP). Studi usaha tani berfungsi menilai apakah komoditas memiliki nilai ekonomi yang memadai setelah mempertimbangkan kebutuhan input tambahan yang biasanya diperlukan di lahan pascatambang, seperti pupuk organik, kapur, topsoil, atau mikoriza. Berikut ini beberapa contoh pemetaan peluang komoditas agroindustri berdasarkan analisis usaha tani:

- **Beras**
Beras secara ekonomi memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut di Kalimantan Timur dimana program swasembada beras merupakan salah satu program prioritas nasional yang diagendakan dalam pembangunan ekonomi di Indonesia (Handani et. al, 2021). Duakaju et.al (2022) dalam penelitiannya terhadap analisis usaha tani terhadap komoditas beras di Desa Jembayan Dalam, Kab. Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, menunjukkan keuntungan usaha tani padi sawah bernilai positif secara rata-rata dalam 2 musim tanam walaupun penanaman dilakukan di dekat lokasi tambang aktif. Namun produktivitas komoditas beras dapat dipengaruhi oleh tingkat keseimbangan atau pH tanah yang masam sehingga komoditas beras secara teori tidak terlalu kompatibel dengan kondisi tanah pascatambang yang secara umum masam.
- **Cabai keriting**
Komoditas sayuran juga memiliki potensi ekonomi yang baik untuk dikembangkan pada area pascatambang di Kalimantan Timur jika dilihat dari selisih produksi dan konsumsi pada periode 2024 . Salah satu contoh komoditas sayuran yang cukup berpotensi adalah cabai keriting. Studi di berbagai lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa kelayakan usaha tani cabai keriting bernilai positif (Amrin, 2024; Vaulina, 2025). Harga cabai keriting di Kaltim cenderung meningkat dari sejak 2020 hingga Oktober 2025 (Laminetam, 2025). Dari sisi biofisik, cabai membutuhkan input pupuk organik jika ditanam pada area pascatambang.
- **Melon**
Studi agribisnis di Samarinda menyebutkan bahwa melon merupakan komoditas buah yang memiliki potensi pasar yang tinggi di kota Samarinda akibat tingginya permintaan dan penyerapan pasar yang stabil (Budi et al., 2023). Temuan tersebut sejalan dengan hasil analisis usahatani nasional yang menunjukkan bahwa komoditas melon memiliki profitabilitas tinggi dengan nilai R/C ratio berkisar antara 2,0–2,7, menandakan bahwa setiap satu satuan biaya dapat menghasilkan lebih dari dua satuan pendapatan (Rahmatullah, 2025; Abdurrahman, 2023). Selain itu, FAO (2022) menyatakan bahwa produksi melon terus meningkat secara global karena tingginya preferensi konsumen dan kuatnya permintaan pasar hortikultura. Bukti-bukti ini secara konsisten menegaskan bahwa melon merupakan komoditas dengan potensi ekonomi signifikan untuk pengembangan agroindustri, termasuk pada wilayah pascatambang yang sedang mencari komoditas hortikultura bernilai tinggi.

Dengan demikian, pemetaan peluang agroindustri pada lahan pascatambang harus dilakukan melalui integrasi antara analisis biofisik dan analisis pasar, termasuk kesesuaian tanah, peluang supply–demand, serta kelayakan usaha tani. Pendekatan integratif ini memastikan bahwa komoditas yang dipilih tidak hanya dapat tumbuh secara agronomis, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi, mendukung ketahanan pangan daerah, serta memperkuat struktur agroindustri lokal.

Market System Development (MSD) Pada Agroindustri Pascatambang

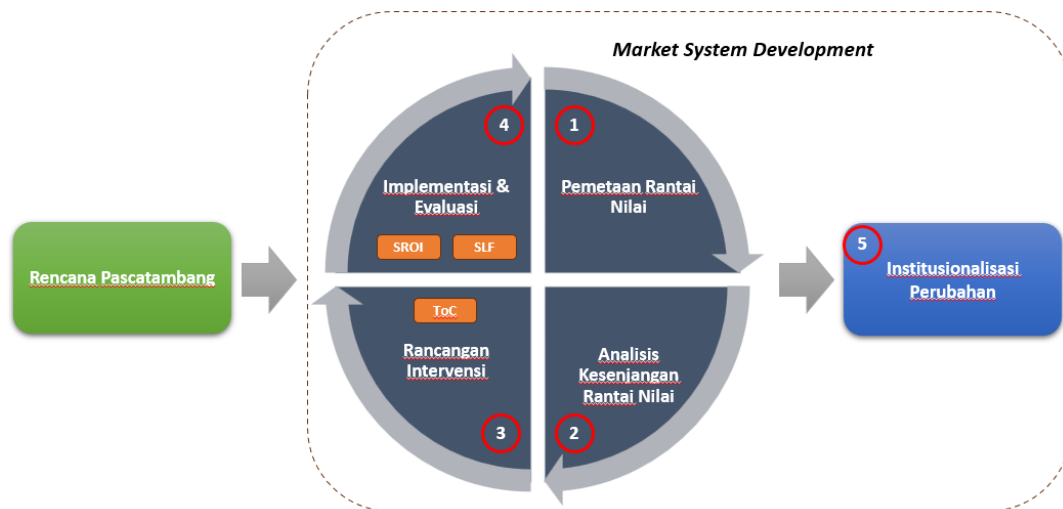


Gambar 7. Konsep Market System Development

Untuk meminimalisir dampak pergeseran ekonomi pasca penutupan tambang, model pengembangan komoditas agroindustri perlu dirancang untuk mengoptimalkan keterlibatan masyarakat dan menciptakan dampak ekonomi jangka panjang bagi institusi lokal. Pendekatan MSD menawarkan kerangka yang relevan karena menekankan analisis fungsi pasar, struktur rantai nilai, serta insentif pelaku untuk menghasilkan sistem yang inklusif dan berkelanjutan (Springfield Centre, 2021; USAID Market Systems Framework, 2022). MSD terbukti efektif dalam konteks pembangunan ekonomi berbasis komunitas, terutama pada wilayah yang mengalami transisi struktural, karena berfokus pada perubahan sistemik yang memungkinkan pasar lokal berfungsi secara mandiri dalam jangka panjang (Ripley & O'Sullivan, 2020). Dalam konteks lahan pascatambang, pendekatan MSD dapat digunakan untuk merumuskan pengembangan komoditas agroindustri berbasis komunitas—melalui penguatan produsen utama, peningkatan kapasitas lembaga desa, dan pembentukan hubungan dagang yang berkelanjutan—sehingga mendukung diversifikasi ekonomi dan keberlanjutan sosial-ekologis (UNDP, 2023; GIZ, 2024). Pendekatan MSD mendorong perubahan sistemik kepada masyarakat, UMKM, ataupun institusi lokal dengan memperbaiki 3 komponen utama rantai nilai yaitu:

1. **Pasar inti (*core market*):** rantai nilai inti permintaan-penawaran komoditas dari produsen hingga konsumen akhir
2. **Fungsi pendukung (*supporting functions*):** layanan pendukung yang memungkinkan untuk berjalannya sebuah rantai nilai seperti infrastruktur, akses permodalan, teknologi, layanan teknis, dan informasi pasar
3. **Aturan dan norma (*rules and regulations*):** tata kelola yang berlaku baik formal maupun informal seperti peraturan pemerintah, hukum, standar industri, adat dan norma yang berlaku di rantai nilai

Masyarakat lokal, UMKM maupun institusi lokal dapat terlibat dalam berbagai peran pada rantai nilai tersebut bersama swasta maupun pemerintah. Perusahaan Tambang berperan sebagai katalis/fasilitator pada rantai nilai dalam menginisiasi kolaborasi *multistakeholder* untuk menghasilkan rantai nilai yang terintegrasi dan terinstitusionalisasi dengan tujuan memaksimalkan transaksi dan pertumbuhan ekonomi lokal dari agroindustri yang skalabel dan berkelanjutan.



Gambar 8. Tahapan *Market System Development*

Penerapan MSD dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. **Pemetaan rantai nilai:** Pemetaan rantai nilai komoditas potensial dilakukan sesuai cakupan geografis berdasarkan 3 komponen utama MSD untuk memahami peran, kepentingan, insentif dan arus barang/jasa yang terjadi di masing-masing aktor rantai nilai
2. **Analisa kesenjangan rantai nilai:** Identifikasi kekuatan dan hambatan pada setiap aktor maupun rantai nilai secara keseluruhan untuk menentukan langkah penguatan prioritas
3. **Desain Intervensi:** Mendesain intervensi/program *multistakeholder* untuk memperkuat rantai nilai yang berkelanjutan berdasarkan *Theory of Change* dimana keterlibatan masyarakat, UMKM maupun institusi lokal dioptimalkan (*program berbasis komunitas*).
4. **Implementasi dan Evaluasi:** Eksekusi program dilakukan, dimonitor, dan dievaluasi secara berkala. Metriks – metriks yang digunakan harus disepakati sejak awal. Pengumpulan data yang berkualitas merupakan kunci utama untuk evaluasi kinerja dan objektif program.
5. **Institusionalisasi Perubahan:** Perubahan sistemik dapat terjadi dan bertahan melalui institusionalisasi. Pembentukan kelembagaan masyarakat dengan tata kelola yang terdokumentasi merupakan indikasi kuat akan perubahan sistemik yang berkelanjutan.

Pemetaan dan Analisa Kesenjangan Rantai Nilai

Penentuan komoditas potensial yang akan dikembangkan untuk agroindustri di lahan pascatambang menjadi tahap yang krusial dalam penerapan MSD. Hal ini dikarenakan setiap komoditas memiliki struktur pasar dan rantai nilai yang spesifik.

Pemetaan peran, kekuatan dan hambatan melalui identifikasi masalah-masalah utama dalam struktur pasar dan peluang kolaborasi antar *stakeholder* dalam rantai nilai dilakukan dengan analisis mendalam agar memberikan basis yang kuat dalam mendesain intervensi.

Pengembangan agroindustri di lahan pascatambang tidak dapat hanya berfokus terhadap produksi, namun juga pasar, penguatan hubungan antar *stakeholder* dan harus sejalan dengan rencana dan peraturan pemerintah.

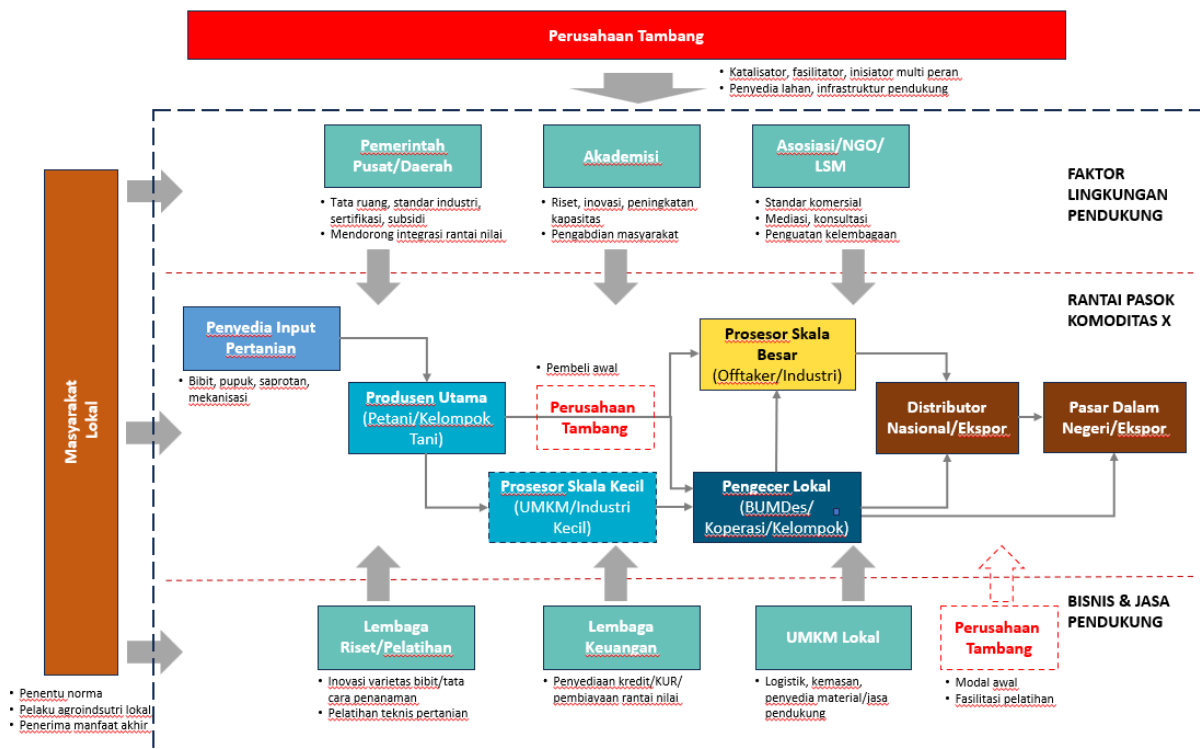
Dalam konteks pengembangan agroindustri di lahan pascatambang, peta rantai nilai pada umumnya dapat melibatkan berbagai entitas yang memiliki peran masing-masing, namun setiap komoditas dan

area dapat memiliki struktur berbeda. Contoh umum pemetaan *stakeholder* dan perannya dalam agroindustri di lahan pascatambang dapat dilihat pada tabel 6 di bawah.

Tabel 6. Contoh Pemetaan *Stakeholder* dan Perannya dalam Agroindustri di Lahan Pascatambang

	Aktor	Peran Utama	Hambatan (H) - Kekuatan (K)
Katalis utama; fasilitator/inisiator pasar awal; multi-peran	Perusahaan Tambang	Lahan pascatambang, infrastruktur; fasilitator/inisiator dan katalis pengembangan rantai nilai.	H: Keahlian agroindustri terbatas K: Jaringan dan modal
Target perubahan; aktor pasar; multi-peran	Masyarakat Lokal	Pelaku agroindustri lokal (rantai inti maupun pendukung), penentu norma, penerima manfaat akhir.	H: Kapasitas dan akses pasar maupun modal terbatas K: Mengenal area dengan baik
Faktor lingkungan pendukung	Pemerintah Pusat/ Daerah	Regulasi, hukum, standar industri, perizinan, sertifikasi dan subsidi.	H: Tenaga kerja terbatas K: Otoritas pemberian izin dan subsidi
	Akademisi	Riset, inovasi, peningkatan kapasitas Ripro bono (pengabdian).	H: Anggaran terbatas K: Keahlian riset dan program
	Asosiasi/NGO/LSM	Standar komersial, mediasi, konsultasi, penguatan kelembagaan.	H: Anggaran terbatas K: Hubungan masyarakat dan kapasitas teknis
Rantai nilai utama	Produsen Utama	Menghasilkan produk primer (komoditas maupun jasa).	H: Kapasitas teknis, akses pasar dan modal terbatas K: Memiliki minat tinggi
	Penyedia Input Pertanian	Bibit, pupuk, saprotan, layanan mekanisasi.	H: Keterbatasan tenaga dan modal K: Kapasitas teknis
	BUMDes/Koperasi/ Kelompok	Institusi masyarakat lokal, akses pasar.	H: Kapasitas teknis, kelembagaan, akses pasar dan modal terbatas K: Dipercaya masyarakat
	Prosesor Skala Kecil/ Besar	- Pengolahan bernilai tambah - Offtaker, penentu kualitas, akses pasar - Pembiayaan	H: Kapasitas teknis dan akses modal terbatas K: Kapasitas edukasi standar kualitas
	Distributor Nasional/ Ekspor	- Akses pasar nasional/ekspor. - Pembiayaan	H: Akses informasi terbatas K: Kapasitas logistik dan modal
	Pasar Dalam Negeri/ Ekspor	Konsumen akhir, penentu kualitas.	H: Akses informasi terbatas K: Kapasitas logistik dan modal
Bisnis & jasa pendukung	Lembaga Riset/ Pelatihan	Inovasi, pelatihan teknis.	H: Keterbatasan tenaga ahli K: Kapasitas teknis
	Lembaga Keuangan	Kredit/KUR, pembiayaan rantai nilai.	H: Akses informasi terbatas K: Kapasitas modal
	UMKM Lokal	Logistik, pengemasan, material & jasa pendukung lainnya.	H: Kapasitas teknis dan modal terbatas K: Pengalaman tinggi

Pemetaan rantai nilai MSD dapat diterjemahkan lebih lanjut menjadi bagan contoh dibawah ini.



Gambar 9. Contoh Pemetaan Rantai Nilai dalam MSD

Desain Intervensi

Proses desain intervensi mencakup analisa akar masalah, penetapan target, pendefinisian data dan pengembangan metode monitoring dan evaluasi. Perusahaan Tambang dapat mendesain intervensi menggunakan *Theory of Change (ToC)* sebagai kerangka logis untuk memastikan bahwa setiap langkah intervensi terhubung dengan tujuan peningkatan kesejahteraan masyarakat. ToC digunakan untuk mengidentifikasi hambatan dan kekuatan di sepanjang rantai nilai, memetakan jalur perubahan (*impact pathway*), dan memastikan bahwa intervensi berlandaskan pada analisis sistemik yang komprehensif (OECD, 2022; UNDP, 2021).

Pada tahap awal, umum ditemukan Perusahaan Tambang mengambil peran sebagai jasa pendukung maupun aktor dalam rantai nilai melalui penyediaan infrastruktur dasar, pemberian bantuan modal, pelatihan teknis atau kelembagaan serta fasilitasi dengan pemerintah untuk menginisiasi aktivitas berdasarkan desain intervensi.

Namun secara paralel dan bertahap perusahaan memfasilitasi kehadiran aktor lain atau berkolaborasi dengan masyarakat agar mereka menjadi aktor pada rantai utama maupun fungsi pendukung dan mengurangi peran perusahaan sehingga rantai nilai berbasis komunitas terbentuk. Kolaborasi *multistakeholder* menjadi fondasi utama keberhasilan pengembangan agroindustri pascatambang yang diorkestrasi oleh Perusahaan Tambang. Hal ini dilakukan melalui skema kemitraan yang jelas mulai dari legalitas, pendefinisian peran, hingga terbentuk rantai nilai yang berkelanjutan.

Masyarakat dan kelompok tani dapat mengambil berbagai peran dalam rantai nilai seperti produsen utama, penyedia jasa, buruh, pedagang dan lainnya. BUMDes/Koperasi/Kelompok dapat berfungsi sebagai agregator dan pengelola usaha lokal. Pemerintah Daerah/Provinsi dapat berperan dalam memberikan kepastian regulasi, tata ruang, subsidi, penyelarasan program dan penyuluhan pertanian.

Asosiasi, NGO/LSM yang menentukan norma. Sektor Swasta/Investor dapat mengambil peran sebagai produsen, pedagang lokal, prosesor skala kecil dan besar, pasar nasional maupun ekspor hingga menjadi pemodal dengan bermitra atau memperkerjakan masyarakat lokal.

Intervensi berbasis komunitas ditujukan untuk keterlibatan dan dampak ekonomi masyarakat yang optimal sehingga dapat mengintegrasikan pemulihan ekologis dengan transformasi ekonomi lokal.

Evaluasi dan Pengukuran Dampak Pengembangan Agroindustri Pascatambang

Implementasi MSD harus dimonitor secara jelas dan terukur. Asesmen *baseline* keadaan masyarakat sekitar dilakukan saat pemetaan awal sebagai basis evaluasi.

Pengukuran keberhasilan intervensi dapat dilakukan menggunakan 3 metrik utama yaitu:

1. **Kenaikan Pendapatan Masyarakat:** Perubahan pendapatan masyarakat setelah intervensi
2. ***Sustainable Livelihood Framework (SLF)*:** digunakan untuk menilai perubahan kapasitas, aset nafkah, dan ketahanan ekonomi rumah tangga
3. ***Social Return on Investment (SROI)*:** mengkuantifikasi efisiensi nilai ekonomi yang tercipta dari intervensi terhadap investasi sosial Perusahaan.

SLF dan SROI menjadi pilihan utama dalam evaluasi dan pengukuran dampak yang menyeluruh. Kedua metode tersebut menangkap perubahan multi-dimensi dan memberikan gambaran nilai manfaat secara komprehensif sementara kenaikan pendapatan masyarakat menjadi indikator awal terciptanya nilai ekonomi pada rantai nilai. SLF memungkinkan evaluasi apakah intervensi MSD telah memperkuat aset dan strategi penghidupan masyarakat untuk berpartisipasi secara efektif dalam sistem pasar, sedangkan SROI mengukur sejauh mana perubahan sistemik tersebut menghasilkan manfaat sosial-ekonomi yang signifikan dan berkelanjutan (UNDP, 2022; Social Value International, 2022).

Pengembangan agroindustri pada lahan pascatambang berpengaruh langsung pada peningkatan keahlian, aset fisik, jaringan sosial, kelembagaan lokal, pendapatan masyarakat, politik dan informasi. SLF menangkap dimensi-dimensi tersebut secara holistik dan membantu dalam menelaah bagaimana intervensi yang dilakukan memperkuat ketahanan aspek-aspek tersebut secara komprehensif.

Pengembangan agroindustri pascatambang melibatkan investasi dari berbagai aktor seperti Perusahaan Tambang, BUMDes, kelompok tani, swasta, serta pemerintah. SROI mengukur seberapa besar manfaat yang dihasilkan dari seluruh investasi tersebut melalui rasio nilai dampak terhadap investasi sehingga efisiensi investasi terhadap manfaat sosial-ekonomi yang nyata dapat diukur.

Tabel 7. Kerangka Pendekatan dengan Relevansi Agroindustri Pascatambang

Kerangka Pendekatan	Objektif Utama	Pertanyaan Kunci	Indikator	Relevansi Agroindustri Pascatambang
<i>Market System Development (MSD)</i>	Perubahan sistem pasar, perilaku aktor, fungsi pendukung dalam rantai nilai	Apakah intervensi menciptakan perubahan sistemik pada pasar?	Perubahan struktur pasar, hubungan antar aktor, insentif dan fungsi pendukung	Pendekatan untuk memetakan dan membentuk rantai nilai berbasis komunitas di lahan pascatambang

Theory of Change (ToC)	Perubahan perilaku berdasarkan kausalitas logis (<i>input</i> → <i>activity</i> → <i>output</i> → <i>outcome</i> → <i>impact</i>)	Bagaimana intervensi menghasilkan dampak jangka panjang dan berkelanjutan?	Kesinambungan perubahan setelah intervensi tanpa pihak eksternal	Menyusun peta perubahan lahan pascatambang menuju agroindustri
Sustainable Livelihood Framework (SLF)	Pengukuran kekuatan dan aset: aspek modal manusia, sosial, alam, fisik, finansial, politik, informasi	Bagaimana intervensi meningkatkan kemampuan dan ketahanan ekonomi masyarakat?	Perubahan kapasitas 7 aspek modal aset (alam, manusia, finansial, sosial, fisik/infra, politik, informasi)	Mengidentifikasi dan mengukur peningkatan kesejahteraan masyarakat lokal setelah tambang tutup
Social Return on Investment (SROI)	Evaluasi efisiensi nilai dampak sosial terhadap investasi sosial	Berapa kali nilai ekonomi yang tercipta dari setiap rupiah investasi sosial?	Rasio manfaat sosial (Rp)/Investasi sosial (Rp)	Mengukur multiplier manfaat ekonomi dan sosial program agroindustri pascatambang

Institusionalisasi untuk Keberlanjutan dan Perubahan Sistemik

Institusionalisasi perubahan merupakan hal krusial untuk memastikan perubahan terjadi secara sistemik dan berkelanjutan. Literatur MSD menyatakan bahwa perubahan hanya dapat dianggap sistemik apabila perilaku baru, hubungan antar-aktor, dan mekanisme pasar yang diperkuat telah menjadi bagian dari norma dan praktik kelembagaan yang berlaku secara konsisten (Springfield Centre, 2021; Lemma, 2022).

Dalam konteks pengembangan agroindustri di lahan pascatambang, institusionalisasi dapat diwujudkan melalui pembentukan dan penguatan kelembagaan lokal yang dimiliki masyarakat seperti Kelompok Tani, Koperasi, BUMDes, atau forum multipihak. Pembentukan kelembagaan ini harus disertai dengan tata kelola yang terdokumentasi—meliputi aturan operasional (SOP), mekanisme pengambilan keputusan, sistem pencatatan, hingga protokol operasional.

Kelembagaan dengan tata kelola yang jelas memungkinkan masyarakat menjalankan fungsi ekonomi secara mandiri, mengelola hubungan aktor pada rantai nilai, terutama pasar serta mempertahankan standar kualitas produk dan inovasi tanpa ketergantungan terhadap fasilitas eksternal.

Institusionalisasi juga mencakup internalisasi peran dan insentif pada aktor-aktor kunci dalam sistem. Ketika masyarakat lokal, UMKM, lembaga keuangan, dan penyedia input pertanian mulai beroperasi berdasarkan mekanisme pasar yang diperkuat selama program—misalnya melalui kontrak dagang yang berkelanjutan, adopsi teknologi secara mandiri, atau terbentuknya pola kolaborasi baru—maka perubahan dapat dikatakan telah terintegrasi ke dalam rantai nilai.

Dengan demikian, institusionalisasi perubahan bukan hanya menandai keberlanjutan program, tetapi juga menjadi indikator bahwa program telah berhasil mendorong terciptanya sistem pasar yang inklusif, adaptif, dan mampu berkembang secara mandiri setelah program berakhir.

Kesimpulan

Kombinasi kerangka teknis, legal, sosioekonomi (potensi pasar, MSD, ToC, SLF & SROI, dan institusionalisasi) dalam pengembangan agroindustri pascatambang berpotensi membantu pencapaian “*beyond compliance*” untuk Perusahaan sekaligus mewujudkan transisi energi yang adil dan berkelanjutan melalui pengembangan program diversifikasi ekonomi masyarakat lokal.

Selain itu terdapat potensi dampak positif terhadap operasional Perusahaan Tambang seperti peningkatan reputasi Perusahaan maupun *Social License to Operate*. Lebih lanjut, keberhasilan dalam implementasi pascatambang dapat menjadi acuan untuk industri sehingga dapat memberikan dampak yang lebih luas kepada masyarakat di area pascatambang.

Daftar Pustaka

- Abdurrahman, A., & Fathurrahman, M. 2023. Analisis Usahatani Melon (Cucumis melo L.) di Kecamatan Martapura, Kabupaten Banjar.
- Alawiyah , Slamet Budi Yuwono , Melya Riniarti , Dermiyati , Christine Wulandari. 2021. Respon pertumbuhan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria*) terhadap pemberian amelioran pada media campuran tanah pascatambang batu kapur. Jurnal Hutan Tropis Volume 9 No. 3 November 2021. <http://repository.lppm.unila.ac.id/37581/1/12314-33630-1-SM.pdf>
- Amrin, S.N. (2024). Analisis Perbandingan Usahatani Cabai Keriting Sebelum dan Sesudah Kenaikan Harga Input Produksi di Kota Pekanbaru. Jurnal Agribisnis Indonesia 12(2).
- Bahrin dan Rohansyah. 2020. Produksi Dan Keuntungan Hasil Tanaman Cabai Capsicum Sp Di Desa Pulantan Kecamatan Awaran Kabupaten Balangan Provinsi Kalimantan Selatan .July 2020 ZIRAAH MAJALAH ILMIAH PERTANIAN 45(2):178 DOI:10.31602/zmip.v45i2.3039researchgate.net/publication/358642995.
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & and Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable multidisciplinary approach. *Chemosphere*, 303, 134788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>.
- Berita Resmi Statistik Kalimantan Timur. 2025. Keadaan Ketenagakerjaan Provinsi Kalimantan Timur Agustus 2025 No. 69/11/64/Th. XXVIII, 05 November 2025. BPS Kaltim.
- BKPM dan BRIN. 2023. Kajian Pengembangan Investasi Budi Daya Sorgum Terintegrasi Industri Pengolahannya <https://ppid.bkpm.go.id/>
- Bortoloti, G. A., & Baron, D. (2022). Phytoremediation of toxic heavy metals by *Brassica* plants: A biochemical and physiological approach. *Environmental Advances*, 8, 100204. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100204>.
- BPS Kalimantan Timur. 2025. Statistik Provinsi Kalimantan Timur. BPS Kaltim.
- Budi, W., Ridhwan, M., & Anwar, S. (2023). *The Potential Development of Leading Fruit Commodity Agribusiness in Samarinda City of East Kalimantan, Indonesia*. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences (RJOAS), Issue 6(138), 102–110.
- Budiana, I. G., Eka, J. & Biantary, M. P. 2017. Evaluasi Tingkat Keberhasilan Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara di PT Kitadin Site Embalut Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Jurnal AGRIFOR, 16(2): 195-208. <https://media.neliti.com/media/publications/217443-none.pdf>.
- Cao, Y., Tan, Q., Zhang, F., Ma, C., Xiao, J., & Chen, G. (2022). Phytoremediation potential evaluation of multiple *Salix* clones for heavy metals (Cd, Zn and Pb) in flooded soils. *Science of The Total Environment*, 813, 152482. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152482>.
- Chang, F.-C., Ko, C.-H., Tsai, M.-J., Wang, Y.-N., & Chung, C.-Y. (2014). Phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Jatropha curcas*. *Ecotoxicology (London, England)*, 23(10), 1969– 1978. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1343-2>.
- Chehregani, A., Mohsenzade, F., & Vaezi, F. (2009). Introducing a new metal accumulator plant and the evaluation of its ability in removing heavy metals. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 91(6), 1105–1114. <https://doi.org/10.1080/02772240802541403>.
- Cheng, Y., Yuan, J., Wang, G., Hu, Z., Luo, W., Zhao, X., Guo, Y., Ji, X., Hu, W., & Li, M. (2024). Phosphate-solubilizing bacteria improve the antioxidant enzyme activity of *Potamogeton crispus* L. and enhance the remediation effect on Cd-contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 470, 134305. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134305>.
- Dinas ESDM Provinsi Kalimantan Timur. 2019. Daftar Izin Usaha Pertambangan Provinsi Kalimantan Timur. Samarinda

- DeGroote, K., Mccartha, G., & Pollard, A. (2017). Interactions of the manganese hyperaccumulator *Phytolacca americana* L. with soil pH and phosphate. *Ecological Research*, 33. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1547-z>.
- Detikfinance. Lubang Bekas Tambang Sekitar IKN Belum Direklamasi. <https://finance.detik.com/energi/d-8126935/2-700>
- Dorsey, B. L., Haevermans, T., Aubriot, X., Morawetz, J. J., Riina, R., Steinmann, V. W., & Berry, P.E. (2013). Phylogenetics, morphological evolution, and classification of *Euphorbia* subgenus *Euphorbia*. *TAXON*, 62(2), 291–315. <https://doi.org/10.12705/622.1>.
- Dinas ESDM Provinsi Kalimantan Timur, 2019 “Daftar Izin Usaha Pertambangan Provinsi Kalimantan Timur,” Samarinda.
- Duakaju, N. N., Mariyah, dan Mutiara Caesar Aulia Ningrum. Analisis pendapatan usahatani pola tanam padi-padi di desa jembayan dalam kecamatan loa kulu kabupaten kutai kartanegara. Ziraa’ah. Analisis pendapatan usahatani pola tanam padi-padi di desa jembayan dalam kecamatan loa kulu kabupaten kutai kartanegara . Volume 47 Nomor 1, Pebruari 2022 Halaman 95-102. <https://media.neliti.com/media/publications/549616-none-f5f18059.pdf>.
- Elmiah, Eries Dyah Mustikarini, Tri Lestari, Muhammad Syukur. Uji Daya Hasil Genotipe cabai Rawit di Lahan Pasca Penambangan Timah Bangka Genotype Yield Test of Cayenne Pepper in Post-Tin Mining Land in Bangka. *Agroteknika* 8 (2): 343-357 (2025). <https://agroteknika.id/index.php/agtk/article/view/459>.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Tropical Fruits Market Review 2021–2022*.
- Goswami, S., & Das, S. (2018). *Eichhornia crassipes* mediated copper phytoremediation using catfish bioassay. *Chemosphere* 210, 440–448. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.044>.
- Gunawan, A., Prasetyo, B., & Lestari, W. (2024). Soil amendment strategies for post-coal mining land rehabilitation in tropical regions. *Environmental Restoration Journal*, 15(1), 22–36.
- Gunawan, B. A., Amelia, V., Widiastuti, L., Darung, U., Damanik, Z., & Sinaga, 2023. Karakteristik Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Pada Kawasan Pasca Tambang Bauksit Di Kabupaten Kotawaringin Timur Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal: Innovative: Journal of Social Science Research* Volume & Halaman: Vol. 3, No. 5, hlm. 8618–8629
- Hafsari, N. M., Setyowati, F., & Sapei, A.. (2022) Kajian Karakteristik Kimia Tanah Pada Lahan Pasca Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Di Dusun Lamat Payang Desa Tirta Kencana Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Sains Pertanian Equator*. Vol. 11, No. 2, hlm. 1–6 Universitas Tanjungpura (Jurnal Untan).
- Handani, W. M., Nunung Kusrini, dan Dwi Rachmina. 2021. Prospek Swasembada Beras Di Provinsi Kalimantan Timur *Jurnal Agribisnis Indonesia (Journal of Indonesian Agribusiness)* 67 Vol 9 No 1, Juni 2021; halaman 67-78 <https://doi.org/10.29244/jai.2021.9.1.67-78>. <https://journal.ipb.ac.id/jagbi/article/download/31796/21849>.
- Harahap, R dan Siagian, M.H. 2004. Rehabilitasilahan Terdegradasi pasca penambangan Timah Di Dabo, Pulau Singkep: Pertumbuhan Dan Penampilan Padigogo. *Berita Biologi* Volume 7. Nomor 3, Desember 2004. <https://media.neliti.com/media/publications/61726-ID-none.pdf>
- Hartati, R., & Pranowo, J. (2023). Integrated land restoration approaches on post-mining sites in Indonesia. *Journal of Environmental Management Studies*, 12(4), 211–229.
- Hasani, Q., TMPratiwi, N., Wardiatno, Y., Effendi, H., Nugraha, A., Pirdaus, P., & Wagiran, W. (2021). Phytoremediation of iron in ex-sand mining waters by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220238>.
- Herliana, I., Pujawati Suryatmana, Reginawanti Hindersah, Rhazista Noviard, 2021. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 8 No 1: 161-168, 2021. Pengaruh Penambahan Top Soil Inceptisol Dan Kompos Pada Tailing Amalgamasi Terhadap Panjang Sulur, Diameter Sulur Dan Jumlah Cabang

- Tanaman Ubi Jalar (*Ipomoea Batatas* L.). e-ISSN:2549-9793, doi: 10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.19
<http://jtsl.ub.ac.id> 161
- Hermansyah, D., Adiputro, P. S., & Susanto, R. (2021). *Karakteristik Tanah/Revegetasi Di Pascatambang Batubara di Kalimantan Selatan*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan.
- Herniwanti, H. (2013). *Water Plants Characteristic for Phytoremediation of Acid Mine Drainage Passive Treatment*. 2227–2720.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *HAYATI Journal of Biosciences*, 12(1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S1978-3019\(16\)30321-7](https://doi.org/10.1016/S1978-3019(16)30321-7).
- Hidayati, S., & Rahmawati, D. (2024). Bioremediation and phytostabilization techniques for heavy metal-contaminated post-mining soils. *Tropical Soil Biology Review*, 9(2), 87–101.
- Irshad, M. K., Lee, J. C., Aqeel, M., Javed, W., Noman, A., Lam, S. S., Naggar, A. E., Niazi, N. K., Lee, H. H., Ibrahim, M., & Lee, S. S. (2024). Efficacy of Fe-Mg-bimetallic biochar in stabilization of multiple heavy metals-contaminated soil and attenuation of toxicity in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Chemosphere*, 364, 143184. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143184>.
- Jacobs, A., De Brabandere, L., Drouet, T., Sterckeman, T., & Noret, N. (2018). Phytoextraction of Cd and Zn with *Nocca caerulea* for urban soil remediation: Influence of nitrogen fertilization and planting density. *Ecological Engineering*, 116, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.007>.
- Juliarti, A., Nurheni Wijayanto, Irdika Mansur, dan Trikoesoemaningtyas. 2023. Pertumbuhan Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi* (L.) Powell) di Lahan Bekas Tambang Batubara dengan Aplikasi Pupuk Kompos. *Jurnal Hutan Tropis* Volume 11 No. 1 Maret 2023. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jht/article/view/15985/0>
- Juswardi, J., Aulia, H., Tanzerina, N., Junaidi, E., & Wardana, S. (2023). *Effectiveness of Waterchestnut (Eleocharis dulcis (Burm.f.) Trin. Ex Henschel) in Phytoremediation of Coal Mine Acid Drainage in Constructed Wetlands*. 8, 1768.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). Baku Mutu Tanah Untuk Kawasan Industri dan Pemukiman. Jakarta: KLHK.
- Konakci, N., Kisiloglu, M. S., & Sasmaz, A. (2023). Ni, Cr and Co Phytoremediations by *Alyssum murale* Grown in the Serpentine Soils Around Guleman Cr Deposits, Elazig Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 110(6), 97. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03736-2>.
- Lasat, M. M., Fuhrmann, M., Ebbs, S. D., Cornish, J. E., & Kochian, L. V. (1998). Phytoremediation of a Radiocesium-Contaminated Soil: Evaluation of Cesium-137 Bioaccumulation in the Shoots of Three Plant Species. *Journal of Environmental Quality*, 27(1), 165–169. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700010023x>.
- Lemma, A. (2022). *Inclusive market systems: Strengthening local institutions for sustainable economic transformation*. Overseas Development Institute (ODI).
- Małecka, A., Konkolewska, A., Hanć, A., Barańkiewicz, D., Ciszewska, L., Ratajczak, E., Staszak, A. M., Kmita, H., & Jarmuszkiewicz, W. (2019). Insight into the Phytoremediation Capability of *Brassica juncea* (v. Malopolska): Metal Accumulation and Antioxidant Enzyme Activity. *Internasional Journal of Molecular Sciences*, 20(18), 4355. <https://doi.org/10.3390/ijms20184355>.
- Malik, M., Chaney, R. L., Brewer, E. P., Li, Y.-M., & Angle, J. S. (2000). Phytoextraction of Soil Cobalt Using Hyperaccumulator Plants. *International Journal of Phytoremediation*, 2(4), 319–329. <https://doi.org/10.1080/15226510008500041>.
- Maryani. S. 2014. Kontaminasi logam berat dalam buah melon (studi kasus tanaman melon yang di tanam di wilayah tambang batubara). <http://ejournal.sumselprov.go.id/pptk/article/view/287/212>

- Medina-Díaz, H. L., López-Bellido, F. J., Alonso-Azcárate, J., Fernández-Morales, F. J., & Rodríguez, L. (2024). A new hyperaccumulator plant (*Spergularia rubra*) for the decontamination of mine tailings through electrokinetic-assisted phytoextraction. *Science of The Total Environment*, 912, 169543. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169543>.
- Laminetam. 2025. Harga Komoditas Kaltim. <https://hargapangan.laminetam.id/tabel-harga/komoditas>.
- Lestari, T. Rion Apriyadi, Eries Dyah Mustikarini, Alif Satria, Niken Dwiylivia Yasmin. 2020. Optimalisasi Pertumbuhan dan Daya Hasil Nenas dengan Menggunakan Berbagai Mulsa di Lahan Pasca Tambang Timah. *J. Hort. Indonesia*, Agustus 2020, 11 (2): 149-156 p-ISSN 2087-4855 e-ISSN 2614-2872 DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jhi.11.2.149-156> Terakreditasi No: 2/E/KPT/2015 <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jhi>.
- Lestari., .D. M. 2022. Syamsul Rizal, Inka Dahlianah. Morfologi Jenis – Jenis Tumbuhan Pada Lahan Reklamasi Tambang Batubara Bukit Asam Tanjung Enim. *Jurnal Indobiosains*. Vol 4 No. 1 Edisi Februari 2022. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/biosains/index>.
- Luthfiah, K. Medi Hendra, Dwi Susanto. 2025. Perubahan Sifat Kimia Tanah Pascatambang Batu Bara setelah Satu Siklus Pertumbuhan Sorgum dengan Aplikasi Pupuk Kandang Ayam dan NPK. Prosiding Seminar Nasional Biologi 2025 Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman – Universitas Bengkulu. researchgate.net/publication/397953615_Perubahan_Sifat_Kimia_Tanah_Pascatambang_Batu_Bara_setelah_Satu_Siklus_Pertumbuhan_Sorgum_dengan_Aplikasi_Pupuk_Kandang_Ayam_dan_NPK
- Odjegba, V. J., & Fasidi, I. O. (2007). Phytoremediation of heavy metals by *Eichhornia crassipes*. *The Environmentalist*, 27(3), 349–355. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9047-2>.
- Ogunremi, O., Amubieya, O., Ogunkunle, C., & Fatoba, P. (2024). *Efficacy of biochar on the phytoremediation potential of Tithonia diversifolia on spent oil-contaminated soil*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4629528/v1>.
- Palupi, Nurul Puspita, Roro Kesumaningwati, Bagus Widodo. 2021. Perbaikan Kualitas Tanah Bekas Tambang Batubara melalui Aplikasi Kompos Sampah Kota dengan Bioaktivator Mikroorganisme Keong Mas dan *Trichoderma* sp. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika* Lembab ISSN: 2622-3570 Volume 4, Nomor 1, Agustus 2021 E-ISSN:2621-394X Halaman : 1-12 DOI.210.35941/JATL. <https://e-journals.unmul.ac.id>
- Parker, D. R., Feist, L. J., Varvel, T. W., Thomason, D. N., & Zhang, Y. (2003). Selenium phytoremediation potential of *Stanleya pinnata*. *Plant and Soil*, 249(1), 157–165. <https://doi.org/10.1023/A:1022545629940>.
- Pramaditya, D. A. dan Nilawati, (2022). Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Pada Lahan Bekas Tambang Batubara Yang Telah Direklamasi. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.31315/jmel.v6i2.8022>
- Pusat Penelitian Tanah. (1995). Kriteria Kelas Kesuburan Tanah. Bogor: Pusat Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Qonita, A. Z., Titah, H. S., & Luthtansa, U. M. (2021). Phytoremediation dynamic model of heavy metal mercury (Hg) in mangrove (*Avicennia alba*) at Wonorejo River Estuary. *Malaysian Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 24, 1–9.
- Rahmatullah, A. (2025). Analisis Pendapatan Usaha Tani Buah Melon Varietas Amanda. *Jurnal Agriculture*, 5(1), 45–55. Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- Rahman, A. Sri Ngapiyatun, Wartomo). 2021. Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Untuk Pertumbuhan Tanaman Perkebunan. Utilization Of Ex-Mining Soil For The Growth Of Plantation Crops. <https://media.neliti.com/media/publications/528064-none-d3aba14b.pdf>

- Ramadhana, D. D., Donantho, D., & Paranoan, R. R. Tahun Publikasi (2019) Penilaian Status Kesuburan Tanah pada Lahan Pascatambang di Areal PT. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. Vol. 2, No. 1, hlm. 24–28 DOI: [DOI:https://doi.org/10.35941/jatl.2.1.2019.2529.24-28](https://doi.org/10.35941/jatl.2.1.2019.2529.24-28)
- Ramdhan, Y., et al. (2024). Ecological succession and vegetation strategies for post-mining land rehabilitation. *Indonesian Journal of Ecology*, 18(2), 55–73. https://www.researchgate.net/publication/354577630_Natural_Resources_Under_Vortex_of_Simultaneously_Elections.
- Ramayana, S., Suria Darma Idris1, Rusdiansyah, Krisna Fajar Madjid. 2021. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung (Zea Mays L.) Terhadap Pemberian Beberapa Komposisi Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang batubara. 2021. *Jurnal Agrifor* volume xx nomor 1, Maret 2021. <https://media.neliti.com/media/publications/361402-pertumbuhan-dan-hasil-tanaman-jagung-zea-fe9f70fa.pdf>.
- Risal, S. Johnles, Abner Herry Bajari, Ika Devy Pramudiana,(2021). *Natural_Resources_Under_Vortex_of_Simultaneously_Elections*. Bartholomeus Padatu, <https://www.researchgate.net/publication/354577630>.
- Saputra. D. 2018. Respons pertumbuhan tanaman sengon (*paraserianthes falcataria*) terhadap pemberian *top soil* di lahan pasca tambang batubara.2018. <https://repository.unja.ac.id/3514/1/ARTIKEL%20DWI%20SAPUTRA%20D1D013010.pdf>
- Sari, M. O. S. K., Hastuti, E., & Darmanti, S. (2019). Potential of Water Jasmine (*Echinodorus palaefolius*) In Phytoremediation of Fe in Leachate Jatibarang Landfill. *Bioremediation Journal*, 7, 55–61. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v11i1.17447>.
- Sawranto dan Tuswati, 2020. Produktivitas Tanaman Ubi Jalar Lokal (*Ipomoea Batatas*) Dengan Pemupukan Serasah Kompos Kambing Di Lahan Bekas Penambangan Batu Kapur . [Researchgate.net/publication/345335841](https://www.researchgate.net/publication/345335841)
- Sefti, A., Nursanto, E., & Ernawati, R. (2024). Overview Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Zeolit. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.31315/jmel.v7i2.11316>.
- Song, X., Li, C., & Chen, W. (2022). Phytoremediation potential of Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) pers.) in soils co-contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons and cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234,113389. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113389>.
- Springfield Centre. (2021). *The operational guide for the Making Markets Work for the Poor (M4P) approach*. Springfield Centre for Business in Development.
- Sujiman, Santun R.P., Sitorus R., Oktaviani dan Machfud. 2011. Karakteristik dan Revegetasi Tanaman Karet pada Lahan Pasca Tambang Batubara di Kabupaten Kutai Kartanegara. <https://media.neliti.com/media/publications/133899-ID-none.pdf>
- Sutono, A., Widyawati, S., & Mahendra, D. (2024). Physical reconstruction of degraded soils in coal post-mining areas. *Soil and Environment Research*, 17(1), 45–62.
- Suwardih,N.N. 2019. Pertumbuhan dan Produksi Terung (*Solanum melongena* L.) pada Berbagai Dosis Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Di Lahan Pasca Tambang Timah. skripsi thesis, Universitas Bangka Belitung. <https://repository.ubb.ac.id/id/eprint/3138/>
- Suwardi, Putri Oktariani Aulya Putri1, Sara Situmorang (2025) Teknologi Reklamasi Lahan Bekas Tambang BatubaraTercemar Air Asam Tambang (AAT), *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Pertambangan Journal of Mining Environment Management* E-ISSN 3062-9640 DOI: <https://doi.org/10.70191/jplp.v2i1.62331> Vol. 2 No. 1 Tahun 2025.
- Thamrin, H. 2017., Evaluasi Keberhasilan Penanaman Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) i.c. nielsen) dan Trembesi (*Samanea saman* (Jacq.) merr) pada Lahan Bekas Tambang

<https://media.neliti.com/media/publications/341197-evaluasi-keberhasilan-penanaman-tanaman-5886aec9.pdf>.

- Vaulina, S. (2025). Analisis Komparatif Usahatani Cabai Keriting Metode Panen Muda dan Panen Tua. *Jurnal AGRIFO*, 10(1).
- Widyati, A., Santoso, R., & Fauzan, M. (2023). AMD mitigation and land contour engineering in post-mining reclamation. *Geotechnical & Hydrology Bulletin*, 10(3), 73–89.
- VZ Novita, SS Moersidik, & CR Priadi. (2019). *Phytoremediation Potential of Pistia stratiotes to Reduce High Concentration of Copper (Cu) in Acid Mine Drainage—IOPscience*. *Sci. 355 012063*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/355/1/012063>.
- W Hartati & T Sudarmadji (2022) The dynamics of soil carbon in revegetated post-coal mining sites: A case study in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas (A Journal of Biological Diversity)* Volume 23, Nomor 10, Halaman 4984–4991.
- Yan, H., Gao, Y., Wu, L., Wang, L., Zhang, T., Dai, C., Xu, W., Feng, L., Ma, M., Zhu, Y.-G., & He, Z. (2019). Potential use of the *Pteris vittata* arsenic hyperaccumulation-regulation network for phytoremediation. *Journal of Hazardous Materials*, 368, 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.072>.
- Yu, C., Peng, X., Yan, H., Li, X., Zhou, Z., & Yan, T. (2015). Phytoremediation Ability of *Solanum nigrum* L. to Cd-Contaminated Soils with High Levels of Cu, Zn, and Pb. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(5), 157. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2424-4>.
- Zainudin dan Kesumaningwati, R. 2021. _Penilaian Status Kesuburan Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Samarinda_ *Jurnal Agroekoteknologi Tropika* Lembab ISSN: 2622-3570. Volume 3, Nomor 2, Februari 2021 E-ISSN: 2621-394X. Halaman : 106-111 DOI. 210.35941/JAT. <https://e-journals.unmul.ac.id>
- Zhou, Y., Lan, W., Yang, F., Zhou, Q., Liu, M., Li, J., Yang, H., & Xiao, Y. (2024). Invasive *Amaranthus* spp. for heavy metal phytoremediation: Investigations of cadmium and lead accumulation and soil microbial community in three zinc mining areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 285, 117040. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117040>.