

Pendekatan Ekonomi Sirkular untuk Pengembangan Bioenergi Berkelanjutan di Komunitas Pertambangan Indonesia

Miftahul Fadillah^{1*}, Arif Johar Pratama¹, Mila Viendasari², Muhammad Syukri Nur¹

¹ Magister Teknik Energi Terbarukan, Pasca Sarjana, Universitas Darma Persada.

² Program Pendidikan Vokasi Universitas Indonesia.

*Penulis Korespondensi: fadillahmiftahul@gmail.com

Info Artikel

Diajukan: 24/12/2025

Diterima: 21/01/2026

Diterbitkan: 17/01/2026

Keywords:

Local Biomass, Renewable Energy; Green Economy; Social Empowerment; Energy Efficiency, Post-Mining

Kata Kunci:

Biomassa Lokal; Energi Terbarukan; Ekonomi Hijau; Pemberdayaan Sosial; Efisiensi Energi; Pasca Tambang.



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2025 penulis

Abstract

The circular economy approach offers a strategic pathway to support sustainability in the mining sector by using local biomass as a renewable energy source. This study examines the potential for implementing a community-based bioenergy system in coal mining areas of South Kalimantan through the integration of biomass availability, community readiness, and reclamation land use. The research methods include a literature review, biomass potential assessment, and a community perception survey using a Likert-scale questionnaire. Three biomass sources were identified—organic waste from worker facilities, reclamation vegetation residues, and wood waste from land clearing—providing an estimated energy potential of 65–972 MWh/year. Energy Plantation Forests (HTE) on reclamation land may further supply 76–203 MWh/ha/year. Survey results indicate strong community support (76–90%) for participation and collective management. The findings highlight that circular bioenergy systems can reduce dependence on LPG/diesel while supporting local MSMEs and employment. Village energy cooperatives are recommended as the primary implementation mode.

Abstrak

Pendekatan ekonomi sirkular menjadi strategi penting dalam mendukung keberlanjutan sektor pertambangan melalui pemanfaatan biomassa lokal sebagai sumber energi terbarukan. Penelitian ini menganalisis potensi penerapan sistem bioenergi berbasis komunitas di kawasan pertambangan batubara di Kalimantan Selatan dengan mengintegrasikan ketersediaan biomassa, kesiapan sosial masyarakat, dan pemanfaatan lahan reklamasi. Metode penelitian mencakup studi literatur, analisis potensi biomassa, serta survei persepsi masyarakat menggunakan kuesioner skala Likert. Tiga sumber biomassa teridentifikasi, yaitu limbah organik mess karyawan, serasah vegetasi reklamasi, dan limbah kayu dari land clearing, dengan estimasi potensi energi 65–972 MWh/tahun. Pengembangan Hutan Tanaman Energi (HTE) pada lahan reklamasi juga berpotensi menyediakan pasokan biomassa berkelanjutan sebesar 76–203 MWh/ha/tahun. Hasil survei menunjukkan dukungan masyarakat yang tinggi (76–90%) terhadap pemanfaatan dan pengelolaan bioenergi berbasis komunitas. Temuan ini menunjukkan bahwa model bioenergi sirkular tidak hanya menyediakan alternatif energi dan mengurangi ketergantungan LPG/solar, tetapi juga memperkuat UMKM lokal serta membuka peluang kerja. Penelitian merekomendasikan pembentukan koperasi energi desa sebagai kelembagaan kunci implementasi.

Cara mensitasi artikel:

Miftahul Fadillah, Arif Johar Pratama, Mila Viendasari, & Muhammad Syukri Nur. (2026). Pendekatan Ekonomi Sirkular untuk Pengembangan Bioenergi Berkelanjutan di Komunitas Pertambangan Indonesia. *Journal of Empowerment Community*, 8(1),22–33. <https://doi.org/10.36423/jec.v8i1.2513>

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi aktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Di banyak daerah, terutama wilayah yang bergantung pada energi fosil seperti LPG dan tenaga surya, fluktuasi harga dan ketidakstabilan pasokan dapat menjadi beban ekonomi rumah tangga (Baltruszewicz et al., 2021). Pada saat yang sama, isu perubahan iklim dan tuntutan pengurangan emisi karbon mendorong berbagai sektor, termasuk pertambangan, untuk beralih menuju penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan (Busby & Urpelainen, 2020). Transisi energi ini tidak hanya mencakup teknologi, tetapi juga mencakup perubahan tata kelola dan keterlibatan masyarakat (Antonio et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengintegrasikan kebutuhan energi, keinginan lingkungan, dan kesejahteraan sosial masyarakat secara bersamaan.

Kawasan pertambangan merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi pengembangan energi alternatif berbasis biomassa. Aktivitas penambangan menghasilkan limbah organik dari mess karyawan, serasah dari area reklamasi, dan limbah kayu hasil pembukaan lahan yang jumlahnya tersedia secara konsisten (Paredes-s et al., 2022). Jika dikelola dengan tepat, biomassa tersebut dapat diubah menjadi energi seperti biogas, briket, dan wood pellet yang dapat dimanfaatkan oleh komunitas lokal. Selain sebagai solusi energi, pemanfaatan biomassa di kawasan tambang juga dapat membuka peluang ekonomi baru, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, serta mendukung rehabilitasi dan pemulihan lahan pascatambang (Leveroos, 2013), (Rodzkin et al., 2018). Dengan demikian, pengembangan sistem bioenergi berbasis komunitas berpotensi menjadi strategi energi yang berkelanjutan dan inklusif.

Penelitian mengenai keinginan sosial-ekonomi di kawasan pertambangan dan pemanfaatan biomassa dapat dimasukkan ke dalam empat fokus utama. Pertama, berbagai kajian menyoroti dampak pertambangan terhadap mata pencaharian masyarakat, perubahan struktur ekonomi lokal, dan kerentanan sosial rumah tangga, terutama di Kalimantan Selatan dan wilayah pertambangan lainnya (Ade et al., 2023), (Nasdian & Pandjaitan, 2020), (Indriastuti, 2022), dan (Tianur et al., 2022). Temuan menunjukkan bahwa aktivitas penambangan dapat menimbulkan ketergantungan ekonomi tunggal, penurunan produktivitas lahan, serta pergeseran sumber nafkah dari sektor pertanian ke sektor tambang informal, sehingga mempengaruhi ketahanan ekonomi jangka panjang komunitas lokal (Ade et al., 2023), (Lestyana et al., 2024). Kedua, kajian terkait reklamasi pascatambang tekanan bahwa pemulihan ekosistem tidak hanya diarahkan pada penutupan lubang tambang tetapi juga pada pemanfaatan lahan untuk kegiatan produktif seperti agroforestri, hutan tanaman energi, dan pengembangan usaha komunitas (Ayu et al., 2021), (Indrajaya et al., 2022) dan (Azham, 2015). Pendekatan restorasi ekosistem menunjukkan bahwa vegetasi yang sesuai dengan kondisi tanah terganggu mampu memulihkan fungsi ekologis sekaligus menyediakan sumber biomassa yang berkelanjutan (Indrajaya et al., 2022) dan (Suhartana et al., 2023). Ketiga, penelitian mengenai biomassa dan bioenergi menunjukkan bahwa limbah organik, sisa pertanian-kehutanan, dan serasah vegetasi memiliki potensi nilai kalor yang dapat dikonversi menjadi biogas, briket, ataupun wood pellet (Rhofita et al., 2022) dan (Asia, 2022). Sejumlah kajian memotret potensi biomassa di Indonesia, termasuk peluang pengembangan model bisnis pelet kayu untuk pasar domestik maupun ekspor, serta strategi pemanfaatan residu sebagai energi terbarukan dalam kerangka ekonomi sirkular (Kharisma, 2023) dan (Kanukisya, 2023). Keempat, literatur mengenai pemberdayaan

komunitas berbasis energi terbarukan menunjukkan bahwa pemanfaatan energi alternatif dapat memperkuat ketahanan sosial melalui pembentukan kelembagaan lokal seperti koperasi energi, kelompok usaha masyarakat, dan unit produksi desa (Surya et al., 2021), (Satiani et al., 2022). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi beban ekonomi rumah tangga, tetapi juga menciptakan peluang usaha, meningkatkan keterlibatan warga, serta memperluas bentuk kemandirian ekonomi lokal (Satiani et al., 2022). Namun demikian, literatur yang ada masih melihat bioenergi dan reklamasi sebagai isu yang terpisah, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan sumber biomassa dari ekosistem tambang, model ekonomi sirkular, dan pemberdayaan komunitas lokal sebagai pengelola sistem energi. Dengan kata lain, terdapat kesenjangan (research gap) dalam perancangan model yang tidak hanya menghitung potensi biomassa, tetapi juga menyusun mekanisme kelembagaan agar bioenergi dapat menjadi sumber energi alternatif yang dikelola dan dimanfaatkan langsung oleh masyarakat sekitar tambang. Inilah yang menjadi dasar penelitian baru ini, yaitu merumuskan model ekonomi sirkular bioenergi berdasarkan komunitas di kawasan tambang, dengan mempertimbangkan ketersediaan biomassa lokal, strategi reklamasi melalui hutan tanaman energi, serta kesiapan sosial-ekonomi dalam masyarakat sistem pengelolaan energi jangka panjang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pemanfaatan biomassa telah terbukti layak sebagai sumber energi terbarukan, terutama di wilayah yang memiliki ketersediaan bahan baku berkelanjutan (Satiani et al., 2022), (Indrajaya et al., 2022), (Rhofita et al., 2022), (Kharisma, 2023), (Suhartana et al., 2023) dan (Kanukisya, 2023). Namun, masih terdapat celah penelitian terkait bagaimana sistem bioenergi dapat dirancang secara terpadu dalam konteks komunitas pertambangan, melibatkan rantai pasokan biomassa, kesiapan sosial masyarakat, dan keberlanjutan pascaoperasi tambang. Penelitian ini menawarkan pendekatan baru berupa model ekonomi sirkular bioenergi berbasis komunitas yang mengintegrasikan pengolahan biomassa, penguatan kelembagaan masyarakat, dan penanaman Hutan Tanaman Energi (HTE) pada lahan reklamasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi biomassa di kawasan tambang, menganalisis penerimaan dan kesiapan sosial komunitas, serta merancang model keberlanjutan energi berbasis bioenergi yang dapat diterapkan selama dan setelah fase operasional tambang

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis yang dikombinasikan dengan survei persepsi masyarakat untuk menganalisis potensi biomassa, penerimaan teknologi bioenergi, serta peluang pemberdayaan komunitas di kawasan pertambangan.

Penelitian ini bersifat deskriptif-kualitatif dengan dukungan kuantitatif, di mana data sekunder dari literatur ilmiah dan laporan resmi dianalisis untuk mengidentifikasi potensi biomassa dan model ekonomi sirkular, kemudian diperkuat dengan data primer melalui survei persepsi masyarakat lokal. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan tujuan untuk menjelaskan kondisi faktual, potensi sumber daya, dan kesiapan sosial tanpa melakukan intervensi langsung.

Penelitian ini menggunakan dua jenis data:

1. Data Sekunder, diperoleh dari:
 - o Artikel ilmiah terindeks (Scopus, SINTA, dan jurnal nasional),
 - o Dokumen kebijakan dan laporan resmi Kementerian ESDM dan BPS,

- Studi terkait pemanfaatan biomassa dan reklamasi tambang.
- 2. Data Primer, diperoleh melalui survei kuisisioner kepada masyarakat yang tinggal dan bekerja di sekitar kawasan pertambangan di Kalimantan.

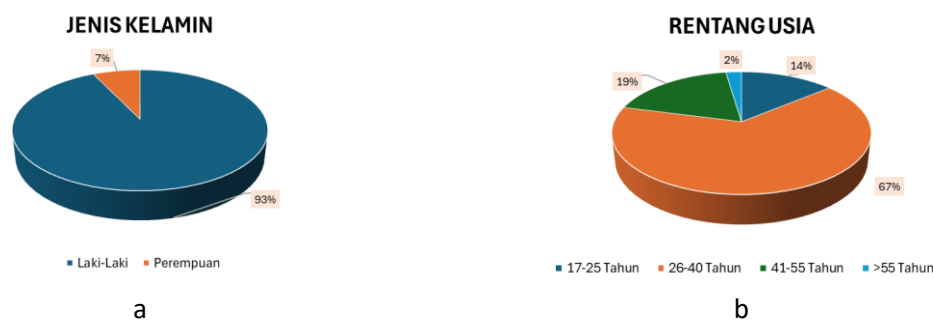
Proses studi literatur dilakukan melalui tahapan berikut:

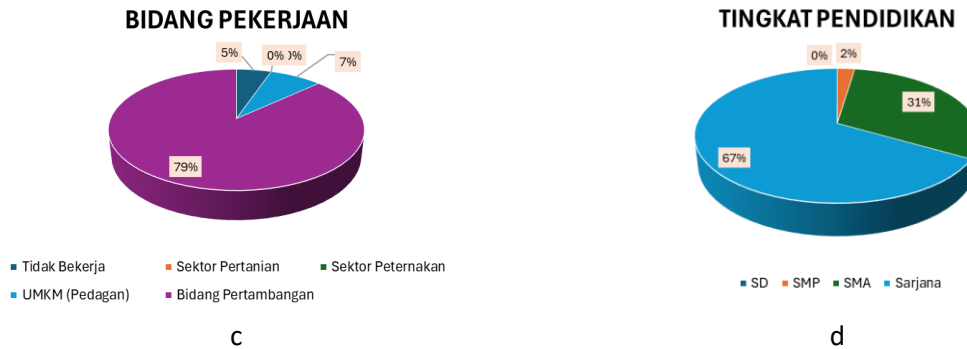
1. Identifikasi kata kunci: *biomass, bioenergy, mine reclamation, community empowerment, circular economy*.
2. Seleksi relevansi berdasarkan:
 - Kesesuaian topik dengan wilayah pertambangan,
 - Ketersediaan data kuantitatif potensi biomassa dan nilai kalor,
 - Relevansi dengan konteks pemberdayaan masyarakat.
3. Sintesis data untuk menyusun tabel potensi biomassa, jenis Hutan Tanaman Energi (HTE), serta model ekonomi sirkular.

Tahap selanjutnya adalah melalui pengambilan survei. Survei dilakukan menggunakan kuesioner tertutup skala Likert 5 poin (Sangat Tidak Setuju – Sangat Setuju) yang disebarakan secara daring melalui Google Form kepada masyarakat yang tinggal di sekitar area pertambangan. Variabel yang diukur meliputi:

- Persepsi kebutuhan energi rumah tangga,
- Penerimaan terhadap teknologi bioenergi,
- Kesiapan berpartisipasi dalam pengelolaan energi komunitas,
- Dukungan terhadap pemanfaatan lahan reklamasi untuk HTE.

Penentuan jumlah responden mengacu pada panduan penetapan ukuran sampel dalam penelitian sosial, di mana ukuran sampel lebih dipengaruhi oleh tingkat presisi dan tingkat kepercayaan daripada jumlah populasi penelitian (Taherdoost, 2017). Karena penelitian ini menggunakan confidence level 95% dan margin of error 5%, maka jumlah minimal responden yang direkomendasikan berada pada kisaran $\pm 30-384$ responden tergantung variasi populasi. Oleh karena itu, jumlah responden yang diperoleh dalam penelitian ini dianggap memadai dan representatif untuk tujuan eksplorasi persepsi komunitas. Jumlah responden pada survei ini mengikuti pendekatan *exploratory community-based survey*, dimana validitas tidak hanya ditentukan oleh ukuran sampel, namun oleh keterwakilan sosial responden dalam konteks riset (Holtom et al., 2022). Total responden adalah 42 orang dengan detail profil seperti ditunjukkan pada gambar 1.





Gambar 1. Profil responden masyarakat di sekitar pertambangan (Peneliti, 2025)

Data dianalisis dengan metode berikut:

- Analisis deskriptif kuantitatif untuk menghitung distribusi jawaban responden dan grafik,
- Analisis kualitatif tematik untuk menginterpretasikan temuan berdasarkan literatur,
- Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil survei dengan temuan literatur untuk memastikan konsistensi dan validitas interpretasi.

Perhitungan potensi energi biomassa dilakukan untuk mengestimasi besarnya energi yang dapat dihasilkan dari setiap jenis sumber biomassa yang teridentifikasi. Estimasi menggunakan pendekatan nilai kalor biomassa (Lower Heating Value/LHV) dan volume ketersediaan biomassa dalam satuan waktu tertentu. Pendekatan ini umum digunakan dalam penilaian potensi energi biomassa pada konteks reklamasi dan pascatambang (Indrajaya et al., 2022) dan (Surya et al., 2021). Rumus umum yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E = Q \times NCV \tag{1}$$

Dimana:

E = Potensi energi biomassa (kWh/tahun)

Q = Jumlah biomassa yang tersedia (kg/tahun atau ton/tahun)

NCV = Nilai kalor biomassa (kWh/kg atau kWh/ton)

Untuk konversi potensi biomassa dalam skala area, seperti pada Hutan Tanaman Energi (HTE), perhitungan dilakukan berdasarkan produktivitas biomassa per hektar. Nilai produktivitas tanaman energi pada lahan reklamasi mengacu pada (Indrajaya et al., 2022) dan (Tianur et al., 2022). Rumus yang digunakan adalah:

$$E_{ha} = Y \times NCV \tag{2}$$

E_{ha} = Potensi energi biomassa per hektar (kWh/ha/tahun atau MWh/ha/tahun)

Y = Produktifitas biomassa per hektar (ton/ha/tahun)

NCV = Nilai kalor biomassa (kWh/kg atau kWh/ton)

Penelitian ini tidak melakukan uji performa teknis sistem bioenergi secara langsung, sehingga hasil bersifat konseptual dan berbasis pemodelan potensi serta kesiapan komunitas. Studi lanjutan diperlukan untuk analisis kelayakan ekonomi dan desain teknis sistem bioenergi secara detail.

HASIL DAN PEMBAHASAN

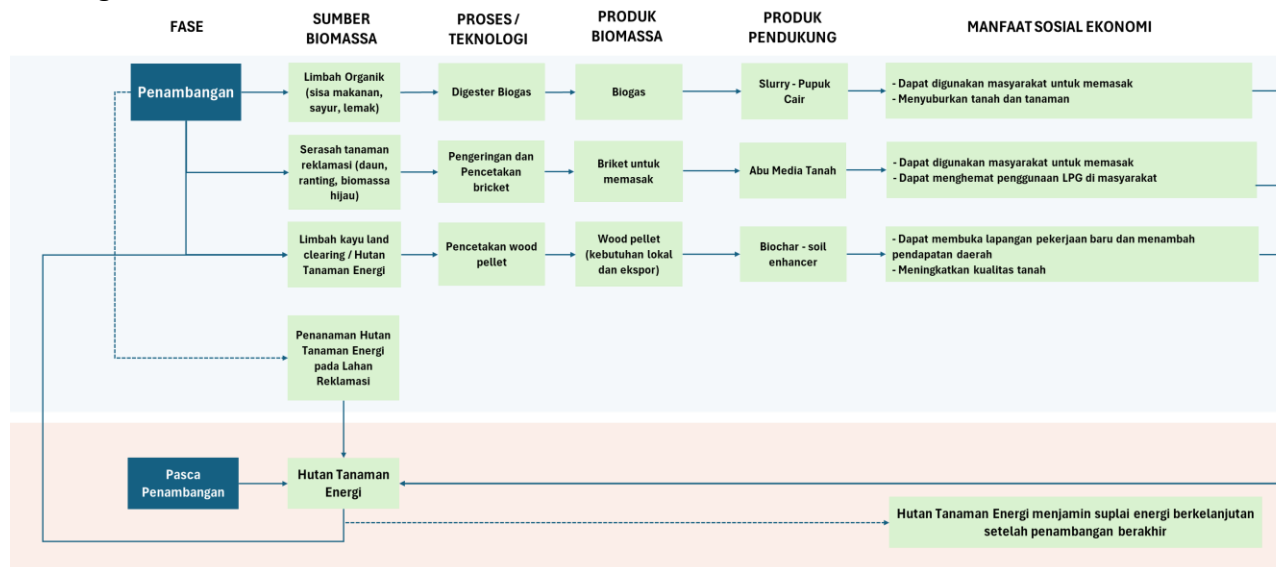
Biomassa di kawasan tambang tersedia terus-menerus dari limbah dapur, serasah reklamasi, dan limbah kayu. Ketiganya memiliki nilai energi yang berbeda-beda dan dapat diolah menjadi biogas, briket, atau wood pellet. Potensi energinya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi Biomassa di Kawasan Tambang

Jenis Biomassa	Sumber	Perkiraan Produksi	Konversi Energi (Nilai Kalor)	Potensi Energi / Tahun	Reference
Limbah dapur & organik mess	Mess karyawan ± 300–500 orang	40–60 kg/hari	~ 4.5 kWh/kg (jika diolah menjadi biogas)	65–98 MWh/tahun	(Rhofita et al., 2022)
Serasah dan biomassa revegetasi	Area reklamasi / reforestasi	8–12 ton/bulan	~ 1,500–2,200 kWh/ton (briket biomassa)	144–316 MWh/tahun	(Indrajaya et al., 2022)
Limbah kayu & pembersihan lahan	Pekerjaan clearing & akses jalan tambang	10–18 ton/bulan	~ 3,800–4,500 kWh/ton (pembakaran terkendali/pyrolisis)	456–972 MWh/tahun	(Surya et al., 2021), (Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2021)

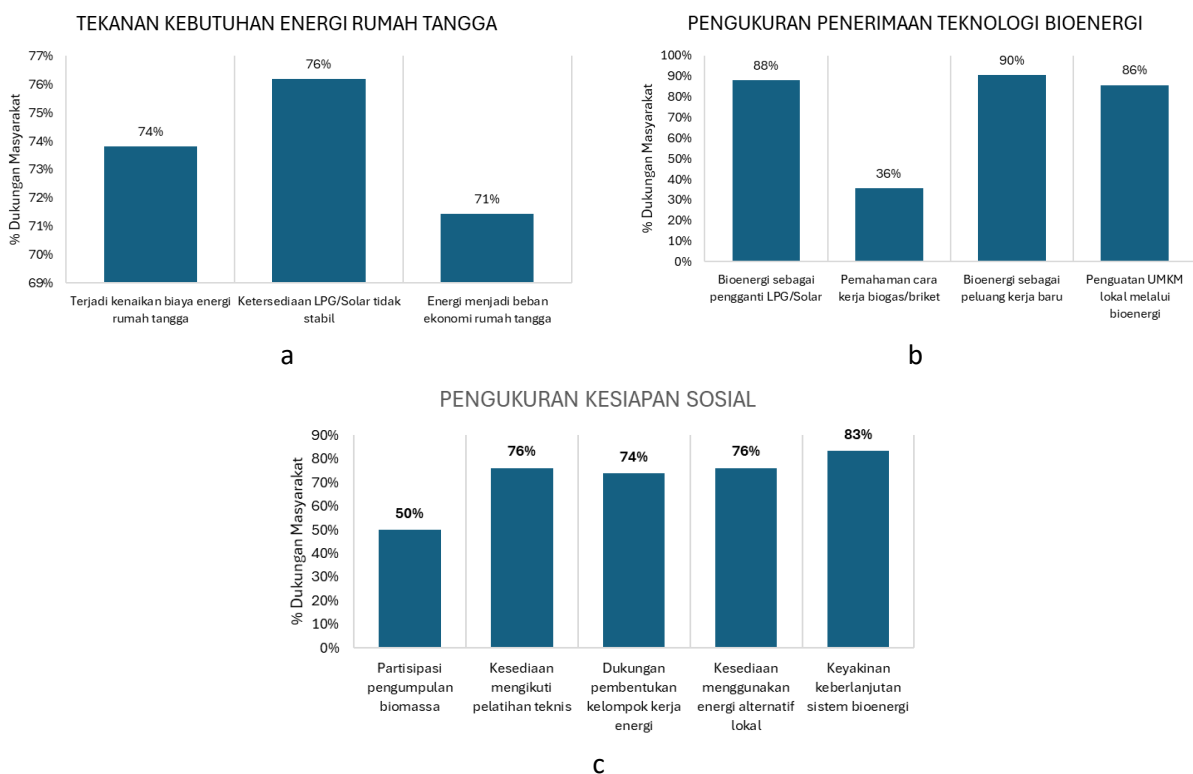
Data: Data sekunder diolah oleh peneliti (2025)

Gambar 2 menggambarkan alur pemanfaatan biomassa dari kegiatan pertambangan sebagai sumber energi terbarukan melalui pendekatan ekonomi sirkular. Limbah organik mess karyawan diolah melalui digester untuk menghasilkan biogas dan pupuk cair, sementara serasah tanaman dari area reklamasi diproses menjadi briket biomassa sebagai bahan bakar memasak. Limbah kayu dari aktivitas land clearing selanjutnya dikonversi menjadi wood pellet yang dapat digunakan secara lokal atau bernilai jual. Produk samping seperti biochar dan abu biomassa dikembalikan ke lahan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Sistem ini tidak hanya menyediakan alternatif energi dan mengurangi ketergantungan LPG/solar, tetapi juga membuka peluang usaha, mendukung UMKM, dan memperkuat ekonomi masyarakat sekitar. Selain itu, penanaman Hutan Tanaman Energi pada lahan reklamasi memastikan ketersediaan biomassa berkelanjutan bahkan setelah fase operasi tambang berakhir.



Gambar 2. Model Ekonomi Sirkular Bioenergi di Kawasan Pertambangan (Peneliti, 2025)

Gambar 3 menunjukkan hasil survei persepsi masyarakat terkait potensi implementasi sistem bioenergi di sekitar kawasan pertambangan. Pada Gambar 3(a), sebagian besar responden menyatakan bahwa biaya energi rumah tangga meningkat serta ketersediaan LPG/solar tidak stabil, sehingga diperlukan alternatif energi yang lebih terjangkau dan berkelanjutan. Pada Gambar 3(b), mayoritas responden mendukung bioenergi sebagai pengganti bahan bakar fosil dan melihatnya sebagai peluang pembukaan lapangan kerja baru, meskipun pemahaman teknisnya masih terbatas. Selanjutnya, Gambar 3(c) menampilkan bahwa dukungan sosial terhadap pengelolaan energi berbasis komunitas cukup tinggi, termasuk kesediaan mengikuti pelatihan, menggunakan energi alternatif lokal, dan keyakinan terhadap keberlanjutan sistem bioenergi.



Gambar 3. Hasil pengukuran dukungan masyarakat terhadap bioenergi: (a). Tekanan kebutuhan energi rumah tangga, (b). Penerimaan teknologi bioenergi, (c). Kesiapan sosial (Peneliti, 2025)

Jenis-jenis Hutan Tanaman Energi (HTE) yang direkomendasikan pada lahan reklamasi tambang menunjukkan potensi biomassa yang cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan sebagai sumber energi lokal. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2, *Caliandra calothyrsus*, *Gliricidia sepium*, *Acacia mangium*, dan *Leucaena leucocephala* memiliki produktivitas biomassa antara 20–45 ton/ha/tahun, dengan nilai kalor sekitar 3.800–4.500 kWh/ton, sehingga menghasilkan potensi energi sebesar 76–203 MWh/ha/tahun. Selain berfungsi sebagai penyedia bahan baku wood pellet dan briket, tanaman-tanaman ini juga memberikan manfaat ekologis, seperti peningkatan kesuburan tanah, penyerapan karbon, dan kemampuan adaptasi pada kondisi lahan pascatambang yang miskin nutrisi. Dengan demikian, pengembangan HTE tidak hanya memastikan ketersediaan pasokan energi jangka panjang, tetapi juga mendukung proses pemulihan ekosistem dan pemberdayaan ekonomi masyarakat melalui pemanfaatan biomassa yang terencana dan berkelanjutan.

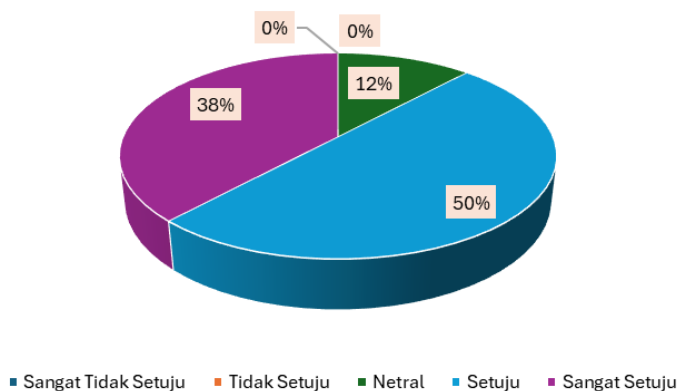
Tabel 2. Rekomendasi Jenis Hutan Tanaman Energi Untuk Lahan Reklamasi.

Jenis Tanaman	Waktu Panen (tahun)	Produktivitas Biomassa (ton/ha /tahun)	Nilai Kalor Biomassa (kWh /Ton)	Potensi Energi (MWh/ha /tahun)	Kelebihan Ekologis	Potensi Pemanfaatan	Referensi
<i>Caliandra calothyrsus</i>	2–3	30–45	3,800 – 4,500	114-203	Penambat nitrogen, toleran tanah miskin nutrisi	Wood pellet / Briket	(Indrajaya et al., 2022)
<i>Gliricidia sepium</i> (Gamal)	2	25–40	3,800 – 4,500	95-180	Meningkatkan kesuburan tanah & organik	Biomassa campuran briket	(Tianur et al., 2022)
<i>Acacia mangium</i>	4–6	20–35	3,800 – 4,500	76-158	Adaptif, tumbuh cepat di lahan bekas tambang	Bahan baku pellet lokal & ekspor	(Surya et al., 2021)
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lamtoro)	3	20–30	3,800 – 4,500	76-135	Penyerapan karbon tinggi	Bahan briket & penghijauan reklamasi	(Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021)

Data: Data sekunder diolah oleh peneliti (2025)

Gambar 4 menunjukkan tingkat dukungan masyarakat terhadap pemanfaatan lahan reklamasi sebagai Hutan Tanaman Energi (HTE). Sebagian besar responden memberikan respon positif, dengan 50% menyatakan “Setuju” dan 38% menyatakan “Sangat Setuju”, sehingga total dukungan mencapai 88%. Hanya sebagian kecil responden yang bersikap netral (12%) dan tidak terdapat respon penolakan. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan reklamasi untuk HTE memiliki legitimasi sosial yang kuat, serta masyarakat siap untuk terlibat dalam pengembangan bioenergi berbasis komunitas. Dukungan ini menjadi faktor penting untuk menjamin keberlanjutan pasokan biomassa dan keberhasilan implementasi sistem bioenergi pascatambang.

DUKUNGAN MASYARAKAT UNTUK PEMANFAATAN LAHAN REKLAMASI SEBAGAI HUTAN TANAMAN ENERGI



Gambar 4. Dukungan masyarakat terhadap pemanfaatan lahan reklamasi sebagai HTE

Tabel 3 menunjukkan bahwa penerapan sistem bioenergi berbasis komunitas memberikan manfaat yang nyata bagi masyarakat sekitar tambang. Sebagian besar responden (90%) menilai bahwa bioenergi mampu menciptakan peluang kerja baru pada sektor produksi dan distribusi biomassa. Selain itu, 86% responden menyatakan bahwa keberadaan bioenergi dapat mendukung UMKM lokal, khususnya pelaku usaha makanan dan minuman yang membutuhkan sumber energi terjangkau. Dari sisi sosial, 76% masyarakat menunjukkan kesediaan untuk terlibat dalam kelompok kerja atau koperasi energi, yang mengindikasikan adanya potensi kelembagaan komunitas yang kuat. Secara keseluruhan, bioenergi tidak hanya berfungsi sebagai solusi energi alternatif, tetapi juga sebagai pendorong pemberdayaan ekonomi dan penguatan kohesi sosial di komunitas tambang.

Tabel 3. Manfaat Sosial Ekonomi Sistem Bioenergi Bagi Komunitas Tambang

Manfaat	Dampak yang Dirasakan Komunitas	Hasil Kusioner
Pengurangan biaya energi rumah tangga	Biaya memasak lebih stabil dan ekonomis	74% responden menjawab positif bahwa energi menjadi beban ekonomi
Pembukaan lapangan pekerjaan	Produksi, pengumpulan bahan baku, distribusi	90% responden menjawab positif bahwa bioenergi sebagai peluang kerja
Penguatan UMKM lokal	Bahan bakar memasak bagi usaha makanan/minuman	86% responden menjawab positif bahwa UMKM terbantu
Penguatan kelembagaan komunitas	Koperasi energi / kelompok kerja desa	76% responden menjawab positif bahwa bersedia terlibat secara kolektif

Data: Data sekunder diolah oleh peneliti (2025)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa di kawasan pertambangan memiliki kelayakan teknis, sosial, dan ekonomi yang kuat. Pertama, dari aspek ketersediaan sumber daya, terdapat pasokan biomassa yang berkelanjutan selama fase operasi tambang maupun pascatambang. Limbah dapur, serasah vegetasi reklamasi, dan limbah kayu pembersihan lahan memiliki estimasi potensi energi berkisar antara 65–972 MWh/tahun (Tabel 1), sehingga mampu berfungsi sebagai alternatif substitusi LPG/solar dalam skala komunitas. Selain itu, penanaman Hutan Tanaman Energi (HTE) pada lahan reklamasi memperkuat keberlanjutan pasokan jangka panjang. Berdasarkan Tabel 2, produktivitas biomassa HTE dapat mencapai 76–203 MWh/ha/tahun, tergantung jenis tanaman, sehingga memungkinkan model penyediaan energi yang tidak terputus meskipun operasi tambang berhenti.

Kedua, dari sisi penerimaan teknologi, hasil survei menunjukkan bahwa masyarakat telah memiliki persepsi positif terhadap bioenergi. Sebanyak 88% responden mendukung bioenergi sebagai pengganti LPG/solar, meskipun tingkat pemahaman teknis biogas dan briket masih terbatas. Namun, 76% responden menyatakan kesediaan mengikuti pelatihan teknis, dan 83% yakin bahwa sistem bioenergi dapat berjalan berkelanjutan (Gambar 2). Hal ini mengindikasikan bahwa aspek capacity building menjadi elemen kunci implementasi, namun bukan penghalang utama.

Ketiga, dari sisi sosial-ekonomi, bioenergi berpotensi memberikan manfaat ekonomi inklusif kepada masyarakat. Data survei menunjukkan bahwa 90% responden melihat bioenergi sebagai peluang kerja baru pada aktivitas pengumpulan, produksi, dan distribusi biomassa. Selain itu, 86% responden menilai bioenergi dapat memperkuat UMKM lokal, terutama usaha makanan dan minuman yang membutuhkan bahan bakar yang stabil dan terjangkau (Tabel 3). Kesediaan 76% responden untuk terlibat dalam koperasi energi menegaskan bahwa fondasi kelembagaan

komunitas sudah tersedia, sehingga model *community-based energy governance* dapat diterapkan secara efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem bioenergi di kawasan pertambangan feasible dan memiliki peluang implementasi tinggi, terutama jika dikombinasikan dengan HTE sebagai pasokan jangka panjang. Tantangan utama yang perlu ditindaklanjuti adalah memastikan dukungan teknis, kelembagaan pengelolaan, dan rantai pasok tetap terjaga, sehingga sistem bioenergi dapat menjadi pilar transisi energi lokal yang berkelanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan pertambangan memiliki potensi biomassa yang signifikan dan berkelanjutan untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif berbasis komunitas. Tiga sumber utama biomassa limbah dapur, serasah vegetasi reklamasi, dan limbah kayu land clearing mampu menghasilkan energi sebesar 65–972 MWh/tahun, sementara penanaman Hutan Tanaman Energi (HTE) pada lahan reklamasi dapat menjamin keberlanjutan pasokan dengan potensi energi tambahan sekitar 76–203 MWh/ha/tahun. Hasil survei juga memperlihatkan tingginya penerimaan masyarakat terhadap bioenergi, kesiapan mengikuti pelatihan teknis, serta dukungan terhadap pengelolaan energi berbasis kelompok atau koperasi.

Selain menyediakan solusi pengurangan ketergantungan LPG/solar, sistem bioenergi berbasis komunitas berpotensi menciptakan peluang kerja baru, memperkuat UMKM, dan meningkatkan stabilitas ekonomi lokal. Dengan demikian, integrasi model ekonomi sirkular bioenergi di kawasan tambang tidak hanya berkontribusi pada transisi energi berkelanjutan, tetapi juga mendukung pemulihan lingkungan dan pemberdayaan sosial-ekonomi masyarakat pascatambang

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, D., Ningsih, S., & Nawireja, I. K. (2023). Dampak Pertambangan Batubara terhadap Kesejahteraan Petani Karet (Kasus : Desa Padang Panjang , Kecamatan Tanta , Tabalong , Kalimantan Selatan) The Impact of Coal Mining On the Welfare of Rubber Farmers (Case : Padang Panjang Village , Tanta District . *Jurnal Sains Komunikasi Dan Pengembangan Masyarakat*, 07(02).
- Antonio, J., Giménez-gómez, J., & Vilella, C. (2020). The allocation of CO 2 emissions as a claims problem. *Energy Economics*, 86, 104652. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104652>.
- Asia, E. (2022). Forecast of Biomass Demand Potential in Indonesia : Seeking a Business Model for Wood Pellets. *Economic Research Institute for ASEAN and East Asia*, 01.
- Ayu, I. G., Santi, G., & Turisno, B. E. (2021). *Sustainable Post-Mining Reclamation for Community Welfare in Ijobalit Village , East Lombok District , West Nusa Tenggara Province*. <https://doi.org/10.4108/eai.29-6-2021.2312618>.
- Azham, Z. (2015). Estimasi Cadangan Karbon pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder , Semak dan Belukar di Kota Samarinda jumlah cadanga. *Jurnal AGRIFOR*, XIV, 325–338.
- Baltruszewicz, M., Steinberger, J. K., Owen, A., Brand-correa, L. I., & Paavola, J. (2021). Energy Research & Social Science Final energy footprints in Zambia : Investigating links between

- household consumption , collective provision , and well-being. *Energy Research & Social Science*, 73(January), 101960. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101960>.
- Busby, J. W., & Urpelainen, J. (2020). *Following the Leaders ? How to Restore Progress in Global Climate Governance*. November, 99–121.
- Holtom, B., Aguinis, H., & Ballinger, G. A. (2022). Survey response rates : Trends and a validity assessment framework. *Human Relations*, 75(8) 1560. <https://doi.org/10.1177/001872672111070769>.
- Indrajaya, Y., Yuwati, T. W., Lestari, S., Winarno, B., Narendra, B. H., Yudono, H., Hadi, S., Rachmanadi, D., Turjaman, M., Nugroho, N. P., Cahyono, S. A., Wahyuningtyas, R. S., & Prayudyaningsih, R. (2022). Tropical Forest Landscape Restoration in Indonesia : A Review. *MDPI*, 1–37.
- Indriastuti, S. (2022). Comparing Coal Mining Industries and Palm Oil Plantations Impacts on The Human Security of Local Communities. *Indonesian Journal of Geography*, 54(1).
- Kanukisya, B. (2023). Socio-Economic Dynamics : Traditional Mining and Community Resilience in South Kalimantan. *Society*, 11(2), 502–514. <https://doi.org/10.33019/society.v11i2.634>.
- Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Rencana Strategis Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara Tahun 2020-2024*.
- Kharisma, D. B. (2023). Circular economy and food waste problems in Indonesia : Lessons from the policies of leading Countries Circular economy and food waste problems in Indonesia : Lessons from the policies of leading Countries. *Cogent Social Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2202938>.
- Lestyana, I., Larasati, A. I., & Manik, T. R. (2024). Analisis Pergeseran Struktur Ekonomi dan Penentuan Sektor Unggulan Provinsi Kalimantan Selatan Tahun 2018-2022. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 19, 141–156. <https://doi.org/10.47441/jkp.v19i1.364>.
- Leveroos, M. K. (2013). *Economic Viability of Woody Bioenergy Cropping for Surface Mine Reclamation*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Nasdian, F. T., & Pandjaitan, N. K. (2020). Resiliensi komunitas kawasan pertambangan dan kerawanan pangan di kalimantan selatan. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 08(01), 47–64. <https://doi.org/10.22500/8202028246>.
- Paredes-s, B. M., Paredes-s, P., & Jos, P. (2022). *Evaluation of Implementation of Biomass and Solar Resources by Energy Systems in the Coal-Mining Areas of Spain*. 1–19.
- Rhofita, E. I., Rachmat, R., Meyer, M., & Montastruc, L. (2022). Mapping analysis of biomass residue valorization as the future green energy generation in Indonesia. *Elsevier*, 1–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131667>.
- Rodzkin, A., Kundas, S., & Charnenak, Y. (2018). *The Assessment of Cost of Biomass from Post-Mining Peaty Lands for Pellet Fabrication*. 22, 118–131. <https://doi.org/10.2478/rtulect-2018-0008>.
- Satiani, L. N., Prabawa, T. S., & Lasso, A. (2022). The Role of Natural Capital in Surviving Periods of Crisis : A Case Study of the Nglanggeran Village Community. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*,

28(December), 269–278. <https://doi.org/10.7226/jtfm.28.3.269>.

Suhartana, S., Malik, J., Dharmawan, I. W. S., Setyawati, T., Novrianti, E., Andini, S., Ningrum, M. H., Waluyo, T. K., & Utomo, P. M. (2023). Potency , Type , and Quality of Wood Waste Harvesting Timber of Lowland Natural Forest in Two Forest Concessions in South Papua. *Journal of Ecological Engineering*, 24(9), 333–344.

Surya, B., Suriani, S., Menne, F., Abubakar, H., Idris, M., Rasyidi, E. S., & Remmang, H. (2021). Community Empowerment and Utilization of Renewable Energy : Entrepreneurial Perspective for Community Resilience Based on Sustainable Management of Slum Settlements in Makassar City , Indonesia. *MDPI*, 1–36.

Taherdoost, H. (2017). Determining Sample Size ; How to Calculate Survey Sample Size 1 Survey Sample Size. *International Journal of Economics and Management Systems*, 2.

Tianur, A., Wiloso, P. G., Sihanenia, R. R., & Sulistioadi, Y. B. (2022). Environment Degradation and Rural Livelihoods of Mulawarman Community in Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 28(December), 279–291. <https://doi.org/10.7226/jtfm.28.3.279>.