



Strategi Produksi Woodchip Secara Berkelanjutan di Pulau Jawa dalam Mendukung Diversifikasi Sumber Energi dan Transisi Energi



Imam Supriyadi*, Suyono Thamrin, Rudy Laksmono, Sri Murtiana

Program Studi Ketahanan Energi, Universitas Pertahanan RI, Bogor, Indonesia

*Email: imamsup@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.10.2.329-344>

ABSTRACT

Indonesia's energy security faces structural challenges due to the dominance of coal in the national energy mix, leading to sustainability risks and increased greenhouse gas emissions. To achieve the 23% renewable energy target by 2025, the government promotes biomass utilization through co-firing in coal-fired power plants. However, its implementation remains constrained by limited sustainable biomass supply and inefficient supply chain systems. This study aims to formulate an optimal allocation strategy for woodchip production in Java as a primary biomass source to support co-firing implementation. The methodology integrates spatial analysis using the Center of Gravity approach and SWOT analysis to develop an integrated development strategy. Key indicators include biomass availability, transportation accessibility, proximity to demand centers, and policy support. The results indicate that Java has a biomass residue potential of 143.58 million tons annually, yet faces a significant land gap of 189,849 hectares for energy plantations. Supply chain optimization reduces delivery time by up to 44% and logistics costs by 38%, with an optimal distribution radius of 80 km serving 16 coal-fired power plants with a total capacity of 14,645 MW. The proposed integrated strategy includes capacity expansion, land intensification, feedstock diversification, and supply chain efficiency through multi-stakeholder collaboration. Overall, the strategy ensures a sustainable biomass supply of 10.2 million tons by 2025 without additional deforestation. The integration of woodchip in co-firing contributes to a 15% reduction in CO₂ emissions and improved plant efficiency, thereby accelerating energy transition, strengthening energy security, and supporting Indonesia's Net Zero Emission 2060 target.

Keywords: biomass, co-firing, energy security, energy transition, woodchip.

ABSTRAK

Ketahanan energi Indonesia menghadapi tantangan struktural akibat dominasi batu bara dalam bauran energi nasional, yang berdampak pada risiko keberlanjutan dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Untuk mencapai target Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025, pemerintah mendorong pemanfaatan biomassa melalui skema *co-firing* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Namun, implementasinya masih terkendala oleh keterbatasan pasokan biomassa yang berkelanjutan dan belum optimalnya efisiensi rantai pasok. Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi optimal alokasi produksi *woodchip* di Pulau Jawa sebagai sumber biomassa utama untuk mendukung *co-firing* PLTU. Pendekatan yang digunakan meliputi analisis spasial dengan metode *Center of Gravity* dan analisis SWOT untuk mengidentifikasi strategi pengembangan yang terintegrasi. Indikator utama yang dianalisis mencakup ketersediaan biomassa, aksesibilitas transportasi, kedekatan dengan pusat permintaan, serta dukungan kebijakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi residu biomassa di Pulau Jawa mencapai 143,58 juta ton per tahun, namun terdapat kesenjangan lahan hutan energi sebesar 189.849 hektare. Optimalisasi jaringan distribusi mampu mengurangi waktu pasok hingga 44% dan menekan biaya logistik hingga 38%, dengan radius distribusi optimal sebesar 80 km dari 16 PLTU berkapasitas total 14.645 MW. Strategi terintegrasi yang dihasilkan meliputi ekspansi kapasitas produksi, intensifikasi lahan, diversifikasi bahan baku, dan peningkatan efisiensi rantai pasok melalui kolaborasi multi-stakeholder. Secara keseluruhan,

strategi ini mampu menjamin pasokan biomassa sebesar 10,2 juta ton pada tahun 2025 tanpa deforestasi tambahan. Implementasi woodchip sebagai bahan bakar co-firing berkontribusi terhadap penurunan emisi CO₂ hingga 15% dan peningkatan efisiensi PLTU, sehingga mendukung percepatan transisi energi, penguatan ketahanan energi, dan pencapaian target Net Zero Emission 2060 di Indonesia.

Kata kunci: biomassa, *co-firing*, ketahanan energi, transisi energi, *woodchip*.

PENDAHULUAN

Ketahanan energi menjadi pilar utama dalam mendukung keberlanjutan pembangunan ekonomi nasional Indonesia, di mana kebutuhan energi terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi. Saat ini, ketergantungan tinggi terhadap sumber energi fosil, khususnya batu bara, masih mendominasi bauran energi nasional, yang tidak hanya menimbulkan risiko ketahanan jangka panjang tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target ambisius melalui Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014) dan Rencana Umum Energi Nasional (Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017), yaitu mencapai porsi Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025 dan 31% pada 2050, dengan bioenergi sebagai salah satu kontributor utama.

Namun, hingga tahun 2023 porsi EBT baru sekitar 13,3% – masih jauh dari target. Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan, salah satunya biomassa. Bioenergi memberikan kontribusi signifikan sekitar 7,4% dari total bauran energi (Direktorat Bioenergi, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa biomassa merupakan salah satu penopang utama pencapaian target EBT, sehingga pemanfaatannya perlu dipercepat secara berkelanjutan. Pemerintah menargetkan pemanfaatan biomassa untuk co-firing PLTU mencapai 10,2 juta ton per tahun pada 2025 (Direktorat Bioenergi, 2025). Volume ini diproyeksikan akan berkontribusi signifikan dalam mencapai bauran EBT 23% tersebut. Namun, realisasi pemanfaatan biomassa hingga 2023 baru mencapai sekitar 7,9 juta ton (Direktorat Bioenergi, 2025). Khusus untuk program co-firing PLTU, total akumulasi biomassa yang telah disubstitusikan hingga September 2024 tercatat sekitar 3,1 juta ton (Direktorat Bioenergi, 2025). Capaian ini masih relatif rendah; sebagai gambaran, pada tahun

2023 PLN menargetkan 2,20 juta ton biomassa untuk co-firing tetapi realisasinya hanya ~1 juta ton di 43 PLTU. Artinya, diperlukan akselerasi hampir sepuluh kali lipat dari tingkat pemanfaatan biomassa saat ini agar target 10,2 juta ton pada 2025 dapat terpenuhi.

Perlunya *co-firing* Biomassa

Bedasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2023 salah satu strategi kunci pemerintah untuk meningkatkan pemanfaatan biomassa adalah *co-firing* di PLTU eksisting, yakni substitusi sebagian batu bara dengan bahan bakar biomassa. Program *co-firing* ini dianggap efektif karena pencampuran biomassa dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dibanding pembakaran batu bara murni, *co-firing* memanfaatkan PLTU yang sudah ada tanpa penambahan investasi modal besar (tanpa *capex* baru); dan biomassa dapat berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang stabil (*baseload*) sehingga melengkapi intermitensi sumber seperti surya atau angin. Bahkan, studi menunjukkan *co-firing* biomassa 5% saja mampu menaikkan porsi EBT sekitar 0,9%, dan beberapa PLTU telah berhasil uji coba *co-firing* >5% bahan bakar biomassa. Dengan karakteristik tersebut, *co-firing* biomassa menjadi *quick win* dalam transisi energi karena dapat segera diimplementasikan untuk diversifikasi energi sambil menurunkan emisi karbon (Nainggolan, 2023).

Namun demikian, pemanfaatan biomassa, baik untuk *co-firing* maupun keperluan industri lainnya, menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan dan rantai pasok yang efisien (Kuncara et al., 2024). Padahal, Pulau Jawa memiliki potensi besar untuk pengembangan biomassa, khususnya *woodchip*, yang dapat diproduksi dari limbah pertanian, hutan rakyat, dan lahan-lahan marginal yang belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, pasar biomassa, khususnya *woodchip*, di Pulau Jawa terbilang tinggi seiring dengan peningkatan

permintaan dari sektor industri dan energi yang mulai beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan (Sylviani & Suryandari, 2013).

Penggunaan Woodchip Sebagai Alternatif Ramah Lingkungan

Woodchip adalah produk energi yang ramah lingkungan, dihasilkan dari serpihan kayu yang diperoleh melalui pengelolaan hutan yang bertanggung jawab dan diproduksi dengan teknologi yang efisien (Pramaita dan Kumara, 2020). *Woodchip* memiliki berbagai aplikasi luas, termasuk sebagai bahan bakar industri makanan, garmen dan tekstil, semen, pulp dan kertas, laundry, serta industri lainnya yang memerlukan *steam* (Kentkhute et al., 2024). Selain itu, *woodchip* dapat digunakan sebagai pupuk organik dan bahan baku industri kertas serta kerajinan. Pentingnya *woodchip* sebagai sumber energi biomassa tidak dapat diabaikan. Dibandingkan dengan batu bara, *woodchip* menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dan bersifat terbarukan, menjadikannya solusi strategis dalam mendukung transisi energi. Pengembangan produksi *woodchip* secara berkelanjutan juga memberikan manfaat ekonomi, seperti penciptaan lapangan kerja baru dan peningkatan nilai tambah sektor kehutanan dan pertanian (Kentkhute et al., 2024).

Pulau Jawa sebagai sentra kelistrikan Nasional

Pulau Jawa merupakan pusat konsumsi energi terbesar di Indonesia, memiliki peran strategis dalam mendukung realisasi target bauran energi tersebut. Di Jawa, terdapat 16 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang sebagian besar masih mengandalkan batu bara. Sebagai respons terhadap target transisi energi, pemerintah telah mendorong implementasi *co-firing* biomassa pada PLTU, di mana biomassa seperti *woodchip* atau *wood pellet* digunakan sebagai campuran bahan bakar untuk mengurangi proporsi batu bara. Program *co-firing* ini merupakan langkah strategis untuk mempercepat penurunan emisi karbon di sektor ketenagalistrikan (KESDM, 2023).

Fokus pada Pulau Jawa menjadi penting karena pulau ini merupakan pusat beban listrik nasional dan lokasi banyak PLTU besar. Demi menjaga ketahanan pasokan biomassa, strategi produksi *woodchip* berkelanjutan harus segera

diperkuat. Pendekatan ilmiah diperlukan dalam manajemen alokasi produksi yang strategis untuk memastikan produksi biomassa yang kontinu (Triani et al., 2024). Strategi ini tidak hanya mendukung diversifikasi energi, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada batu bara dengan memasukkan sumber terbarukan. Sejalan dengan agenda transisi energi bersih Indonesia. Pemanfaatan *woodchip* sebagai pengganti sebagian batu bara akan membantu menurunkan emisi karbon sekaligus mendorong pencapaian target iklim jangka Panjang yaitu, *Net Zero Emission 2060*. Hasil penelitian (Suanggoro Legowo dkk, 2022) pada PLTU Jeranjang menunjukkan bahwa *Co-firing* menggunakan biomassa *wood chip* sebesar 2,83% meningkatkan efisiensi boiler menjadi 74% dan mengurangi emisi CO₂ hingga 15% dibandingkan tanpa *co firing*. Dengan kata lain, memperkuat produksi *woodchip* secara berkelanjutan di Jawa memiliki urgensi yang tinggi karena menjadi prasyarat bagi suksesnya *co-firing* biomassa, pencapaian bauran EBT 23%, dan transisi menuju sistem energi yang lebih ramah lingkungan di Indonesia (Triani et al., 2024).

Tantangan Suplai Biomassa

Meskipun potensinya besar, tantangan suplai biomassa berkelanjutan tidak bisa diabaikan. Ketersediaan lahan untuk menanam kayu energi menjadi faktor penentu. Studi Perum Perhutani menunjukkan bahwa di Pulau Jawa saja terdapat 11 PLTU (total kapasitas ± 14.645 MW) yang berpotensi menerapkan *co-firing*. Sedangkan untuk memasok kebutuhan biomassa *co-firing* 5% di PLTU-PLTU tersebut, diperlukan lahan hutan energi sekitar 189.849 hektare. Saat ini Perhutani baru menyiapkan ± 67.000 ha lahan untuk tanaman biomassa, yang secara efektif mencukupi bahan baku bagi $\sim 26\%$ kapasitas PLTU di Jawa. Masih terdapat kesenjangan lahan yang signifikan, sehingga diperlukan strategi ekspansi dan pengelolaan lokasi yang strategis agar pasokan *woodchip* dapat meningkat tanpa harus merusak lingkungan.

Upaya pencapaian target tersebut harus didukung oleh ekosistem suplai biomassa yang handal. Bahan baku biomassa untuk *co-firing* umumnya berupa kayu energi yang diolah menjadi *woodchip* atau *wood pellet*. Sumbernya

sangat beragam, antara lain: hutan tanaman industri (HTI) dan hutan energi (HTE), hutan rakyat dan hutan sosial, lahan Perum Perhutani, perkebunan, limbah pertanian, hingga sampah organik.

Di tingkat nasional, telah berkembang industri biomassa yang memanfaatkan berbagai residu tersebut. Contohnya, sebuah pabrik biomassa di Sumedang, Jawa Barat, mampu memproduksi woodchip hingga 3.000 ton per bulan dengan memanfaatkan bahan baku dari hutan rakyat dan limbah kayu Perhutani setempat. Ini menggambarkan potensi sinergi antara masyarakat lokal dan BUMD setempat bahkan dengan BUMN kehutanan dalam memasok biomassa energi.



Gambar 1. Bagan Hulu ke Hilir produksi Biomassa (PT. Vin Gold Bioenergy, 2025)

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tahun 2025 dari bulan Mei hingga Oktober di Jakarta dan Sumedang, dengan observasi lapangan pada PT. Vin Gold Bioenergy. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang menggabungkan eksplorasi mendalam dengan analisis deskriptif. Hal ini ditujukan untuk mengidentifikasi dan menentukan lokasi produksi *woodchip* optimal dan merumuskan strategi kebijakan.

Desain penelitian mencakup tahap pengumpulan data, analisis, dan interpretasi dengan penekanan pada keberlanjutan rantai pasok biomassa sesuai target Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014). Metode ini dinilai mampu mendeskripsikan isu kompleks seperti ketersediaan lahan hutan energi untuk co-firing PLTU di Jawa tanpa memerlukan data numerik yang kompleks dan dapat memvalidasi metode yang digunakan.

Subjek Penelitian yang dipilih adalah pelaku usaha di bidang produksi biomassa yang

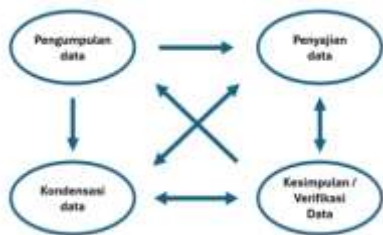
paham akan dinamika produksi untuk memastikan data yang diperoleh relevan dan komprehensif. Objek penelitian yang diteliti adalah strategi produksi *woodchip* mencakup pendekatan, metode, dan kebijakan yang mendukung efisiensi dan keberlanjutannya.

Sumber data primer diperoleh dari observasi langsung dan wawancara serta pemberian kuesioner kepada subjek penelitian di Pulau Jawa, sedangkan data sekunder diperoleh dari penelitian terdahulu. Integrasi subjek dan objek ini diharapkan menghasilkan temuan yang holistik, berkontribusi pada pengembangan bioenergi nasional.

Teknik pengumpulan data meliputi observasi, wawancara semi-struktural, dan studi literatur. Data primer dikumpulkan melalui kuesioner dan wawancara tidak terstruktur dengan narasumber ahli, di mana responden diberi penjelasan awal untuk meminimalkan bias psikologis. Wawancara dilakukan secara bebas seperti percakapan untuk memungkinkan narasumber mengemukakan pendapat mendalam tentang produksi *woodchip*. Wawancara dilakukan untuk menggali informasi lebih dalam terkait strategi operasional, kebijakan pengelolaan bahan baku, serta tantangan yang dihadapi dalam menjaga kesinambungan produksi.

Observasi dilakukan secara langsung terhadap proses operasional di area produksi, mencakup tahapan penimbangan bahan baku, proses pencacahan kayu menjadi serpihan (*woodchip*), sistem pengeringan, hingga tahap pengemasan. Melalui observasi ini, peneliti memperoleh pemahaman komprehensif mengenai tata letak fasilitas, kondisi peralatan produksi, serta efektivitas sistem mekanisasi yang digunakan.

Data sekunder diperoleh dari studi dokumen dan penelitian pendahulu, melengkapi pengukuran lapangan jika observasi langsung tidak memungkinkan. Teknik ini disusun berdasarkan poin-poin relevan seperti ketersediaan bahan baku dan dukungan kebijakan, dengan pertimbangan waktu dan kesiapan responden. Pendekatan ini memastikan data yang empiris dan sistematis untuk analisis strategi berkelanjutan.



Gambar 2. Teknis Analisis Interaktif (Milles, Huberman, & Saldana (2014))

Analisis data dilakukan secara kualitatif menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana (2014), yang mencakup kondensasi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Proses dimulai dengan pengumpulan data dari wawancara dan studi dokumen, diikuti kondensasi untuk menyederhanakan informasi tanpa kehilangan esensi. Data disajikan secara sistematis dalam kode dan pola untuk memudahkan interpretasi, menghasilkan kesimpulan induktif yang menjadi hipotesis strategi produksi. Analisis bersifat induktif, membangun pola dari data empiris untuk menjawab rumusan masalah. Verifikasi dilakukan melalui bukti kuat untuk memastikan kebenaran temuan.

Kemudian hasil verifikasi data diperkuat dengan menambahkan analisis SWOT terkait permasalahan *woodchip* pada pulau Jawa. Hasil analisis digunakan untuk mengidentifikasi faktor strategis internal dan eksternal dalam pengembangan produksi *woodchip* di Pulau Jawa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Observasi PT. Vin Gold Bioenergy

Observasi dilakukan secara langsung pada subjek penelitian, PT. Vin Gold Bioenergy. Peneliti melakukan observasi terhadap proses operasional di area produksi, mencakup tahapan penimbangan bahan baku, proses pencacahan kayu menjadi serpihan (*woodchip*), sistem pengeringan, hingga tahap pengemasan. Melalui observasi ini, peneliti memperoleh pemahaman komprehensif mengenai tata letak fasilitas, kondisi peralatan produksi, serta efektivitas sistem mekanisasi yang digunakan. Peneliti juga menggali informasi terkait strategi operasional, kebijakan pengelolaan bahan baku, serta

tantangan yang dihadapi dalam menjaga kesinambungan produksi.

PT. Vin Gold Bioenergy juga menjabarkan terkait langkah awal dalam sektor energi terbarukan dimulai dari pengenalan terhadap sistem pengolahan sampah menjadi bahan bakar, atau dikenal dengan konsep RDF (*Refuse-Derived Fuel*). Dari pengolahan tersebut, perusahaan mengenali bahwa terdapat tiga jenis utama produk yang dapat dihasilkan dari limbah padat, salah satunya adalah *woodchip*.

Tantangan yang didapatkan subjek penelitian meliputi tiga hal, yaitu :

- Ketidakefisienan sistem birokrasi yang berdampak pada lambatnya proses teknis pengembangan RDF dan *woodchip*, terutama karena belum adanya standar nasional yang baku dalam pemrosesan limbah menjadi energi.
- Masalah lingkungan berupa bau yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah menjadi salah satu hambatan sosial utama. Hal ini membuat perusahaan kerap mendapat penolakan dari masyarakat sekitar karena dianggap mencemari udara dan menurunkan kenyamanan lingkungan.
- Selain itu, aspek finansial menjadi tantangan besar. Untuk mengatasi dampak bau tersebut, diperlukan sistem filtrasi dan teknologi pengolahan yang lebih canggih—yang tentunya membutuhkan investasi dengan nilai tinggi.

Meski demikian, perusahaan melihat peluang bahwa dengan solusi finansial yang tepat dan dukungan kebijakan dari pemerintah, teknologi RDF dan pemanfaatan *woodchip* dapat menjadi salah satu solusi nyata dalam bauran energi nasional.

Teknologi RDF (*Refuse-Derived Fuel*) yang digunakan oleh subjek penelitian memberikan solusi dari aspek teknis terkait pengolahan sampah organik yang dinilai memiliki tingkat pengolahan yang cukup rumit karena tingginya kandungan air. Hal ini dinilai

mampu memangkas nilai ekonomis dari proses pengeringan yang dinilai mahal dan memerlukan teknologi tambahan.

Pengelompokkan sampah menjadi dua kategori utama: organik dan nonorganik. Sampah organik lebih diarahkan untuk pengolahan kompos, sedangkan sampah non-organik menjadi bahan utama dalam produksi RDF. Serta skema nasional pengelolaan sampah berdasarkan volume timbunan (ton per hari/TPD) memberikan info standar terkait potensi yang mungkin bisa dikembangkan.

Narasumber juga menekankan bahwa pengolahan sampah yang tidak dilakukan sesuai standar dan prosedur berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat, terutama akibat paparan emisi dari pembakaran atau pengolahan kimiawi yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, penting bagi setiap proses pengolahan limbah untuk didasarkan pada hasil riset ilmiah dan uji laboratorium terhadap residu dan emisi, agar dapat memitigasi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan.

Masalah bau selama proses pengolahan sampah juga diidentifikasi sebagai salah satu hambatan utama yang menyebabkan resistensi dari masyarakat sekitar fasilitas. Untuk menjawab tantangan tersebut, konsep teknologi purifier sebagai langkah mitigatif berbasis teknis digunakan, meskipun diakui memerlukan investasi finansial yang cukup besar.

Teknologi purifier bekerja dengan sistem sirkulasi udara tertutup yang mengelilingi ruang pengolahan, menangkap senyawa bau, dan menetralkannya melalui proses filtrasi kimia dan biologis. Sistem ini dapat disusun dalam bentuk perimeter tertutup yang mengelilingi fasilitas utama. Teknologi purifikasi telah diterapkan pada pabrik RDF dan WTE (*waste to Energy*) berskala besar di China.

Pendekatan terpusat ini memungkinkan pencemaran bau diminimalisir secara efisien tanpa perlu mengganggu jalur utama proses produksi biomassa. Penempatan sistem purifier di titik tengah menjadikan jangkauan serapan udara lebih merata ke seluruh area kerja. Sistem

ini dinilai cocok untuk diterapkan pada fasilitas RDF dan biomassa berskala menengah hingga besar yang menggunakan sirkulasi tertutup, karena tidak hanya mendukung efisiensi operasional, tetapi juga memberikan solusi konkret terhadap tantangan penerimaan sosial terkait dampak lingkungan dari aktivitas pengolahan limbah.

Selain teknologi purifikasi, optimalisasi bahan baku juga penting. Sekitar 30% limbah kayu di Indonesia berasal dari kegiatan industri logging dan pemotongan kayu. Jika tidak dikelola, limbah ini dapat menimbulkan masalah lingkungan yang serius.

2. Hasil Pengolahan Data : Alokasi Produksi Woodchip di Pulau Jawa

Tabel 1. Hasil Triangulasi Data

Indikator	Hasil Triangulasi
Ketersediaan (potensi biomassa)	Terdapat kesenjangan besar antara lahan yang tersedia (67.000 ha) dan kebutuhan lahan (189.849 ha), meskipun residu pertanian dan limbah kayu lokal berpotensi tinggi.
Aksesibilitas (Transportasi)	Optimasi rute, <i>conveyor</i> otomatis, dan <i>chipping mobile</i> berhasil memangkas waktu rantai pasok hingga 44%, memastikan konektivitas efisien ke arteri dan pelabuhan.
Kedekatan dengan Pusat Permintaan	Lokasi pabrik dalam radius ≤ 80 km ke PLTU utama meminimalkan biaya logistik dan menjaga frekuensi pengiriman tinggi.
Dukungan Kebijakan	Insentif fiskal, program Hutan Tanaman Energi, dan harga pembelian setara batubara menciptakan lingkungan produksi yang kondusif, meski perlu harmonisasi daerah.

Berdasarkan hasil triangulasi data, analisis penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan empat indikator utama, yaitu ketersediaan, aksesibilitas, kedekatan terhadap pusat permintaan, serta dukungan kebijakan. Keempat indikator tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kekuatan dan

kelemahan sistem rantai pasok biomassa di pulau Jawa. Pendekatan triangulasi yang digunakan mengintegrasikan hasil temuan dari studi literatur, observasi langsung di lapangan, atau data primer dan data sekunder, sehingga setiap indikator dapat diuji secara menyeluruh dan temuan penelitian memiliki dasar empiris yang kuat.

Berdasarkan data pada tabel 1, aspek ketersediaan biomassa menunjukkan adanya ketimpangan yang cukup besar antara luas lahan yang tersedia, yaitu sekitar 67.000 hektar, dengan kebutuhan lahan untuk mendukung program co-firing yang mencapai 189.849 hektar. Meskipun demikian, potensi pemanfaatan residu pertanian seperti jerami padi dan sekam, serta limbah kayu dari industri lokal, memberikan peluang yang signifikan sebagai sumber bahan baku woodchip alternatif. Temuan dari berbagai studi internasional mengindikasikan bahwa pemanfaatan limbah pertanian dapat mendukung pencapaian rasio co-firing pada tingkat rendah, namun untuk mencapai target skala besar tetap diperlukan perluasan lahan atau diversifikasi sumber biomassa lain, seperti limbah perkotaan maupun energi terbarukan skala kecil, guna menjamin keberlanjutan pasokan bahan baku di masa depan.

Pada aspek aksesibilitas transportasi, hasil analisis menunjukkan bahwa optimalisasi rute distribusi, penerapan sistem conveyor otomatis, serta penggunaan unit chipping mobile mampu memperpendek waktu dalam rantai pasok hingga 44%. Kondisi ini meningkatkan konektivitas antara lokasi produksi, jalur arteri, dan pelabuhan secara signifikan. Sejalan dengan kajian logistik biomassa, integrasi berbagai moda transportasi—meliputi jalan raya, rel kereta api, dan jalur sungai—serta pengembangan titik *transshipment* strategis berpotensi lebih lanjut menekan biaya operasional serta mengurangi emisi karbon selama proses distribusi. pemanfaatan teknologi *Geographic Information System* (GIS) dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dalam perencanaan lokasi fasilitas logistik biomassa memiliki peran signifikan dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok.

Pada aspek kedekatan dengan pusat permintaan, posisi pabrik yang berada dalam radius ≤ 80 km dari PLTU utama terbukti berperan penting dalam menekan biaya logistik sekaligus menjaga frekuensi pengiriman yang stabil. Analisis kuantitatif menunjukkan bahwa setiap pengurangan jarak sejauh 10 km dapat menurunkan biaya transportasi hingga 6%, sehingga pendekatan *Center of Gravity* (CoG) menjadi metode yang efektif dalam menentukan lokasi produksi yang optimal guna meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan pasokan energi biomassa.

Dari segi dukungan kebijakan lokal, pemerintah daerah telah memberikan dorongan positif melalui pemberian insentif fiskal, implementasi Program Hutan Tanaman Energi (seluas 48.477 hektar), serta penerapan kebijakan harga pembelian biomassa yang setara dengan batu bara. Kebijakan tersebut menciptakan iklim investasi yang kondusif dan mendorong pengembangan industri woodchip secara berkelanjutan. Namun, berdasarkan pengalaman negara-negara di kawasan ASEAN, efektivitas kebijakan ini masih memerlukan harmonisasi skema tarif dan subsidi agar dapat menjamin keberlanjutan ekonomi jangka panjang tanpa menimbulkan distorsi pasar atau ketergantungan berlebihan terhadap dukungan fiskal pemerintah.

3. Hasil Pengolahan Data: Strategi membangun produksi woodchip secara berkelanjutan di Pulau Jawa

Berdasarkan analisis SWOT, hasil pengolahan data menunjukkan empat kelompok faktor strategis yang saling berinteraksi, yakni kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman. Dari sisi kekuatan (*strengths*), industri woodchip di Pulau Jawa memiliki kapasitas produksi dan teknologi pengolahan yang efisien, dengan dukungan peralatan modern seperti Ecostan dan sistem conveyor otomatis yang mampu menurunkan kadar air woodchip hingga di bawah 15%. Selain itu, akses bahan baku lokal relatif terjamin karena adanya pasokan dari hutan rakyat, kemitraan dengan Perum Perhutani, serta potensi limbah pertanian yang melimpah. Faktor lain yang menjadi kekuatan adalah adanya kolaborasi multi-stakeholder yang melibatkan

pemerintah, koperasi, aparat Babinsa, dan masyarakat lokal dalam rantai pasok, serta komitmen industri terhadap energi bersih yang sejalan dengan target Net Zero Emission 2060.

Tabel. 2. Pengelompokkan SWOT

Indikator	Keterangan
Strengths (Kekuatan)	a. Kapasitas dan teknologi efisien b. Akses bahan baku lokal terjamin c. Kolaborasi multi-stakeholder d. Komitmen terhadap energi bersih
Weaknesses (Kelemahan)	a. Kapasitas produksi terbatas b. Ketergantungan pada pasok eksternal c. Terbatasnya SDM dan standar teknis d. Belum efisiennya koordinasi rantai pasok
Opportunities (Peluang)	a. Dukungan kebijakan nasional b. Permintaan pasar yang meningkat c. Potensi biomassa berlimpah d. Komitmen global terhadap transisi energi
Threats (Ancaman)	a. Keterbatasan lahan produksi b. Rantai pasok dan infrastruktur yang lemah c. Isu sosial dan keamanan d. Persaingan pasar dan volatilitas harga

Sementara itu, dari sisi kelemahan (weaknesses), kapasitas produksi aktual masih terbatas dan belum mampu memenuhi kebutuhan nasional biomassa untuk co-firing. Ketergantungan tinggi terhadap pasokan eksternal juga mempengaruhi fluktuasi harga bahan baku sehingga menghambat stabilitas produksi. Keterbatasan sumber daya manusia

(SDM) yang terampil dan belum adanya standar teknis nasional untuk *woodchip* juga menjadi kendala utama. Ditambah lagi, koordinasi rantai pasok yang belum efisien menyebabkan waktu dan biaya transportasi menjadi tinggi, terutama di daerah pedesaan dengan infrastruktur terbatas.

Dari perspektif peluang (*opportunities*), industri *woodchip* di Pulau Jawa memiliki potensi besar untuk berkembang seiring dukungan kuat kebijakan nasional seperti Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Permen ESDM No. 12 Tahun 2023 yang menargetkan bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025. Selain itu, terdapat peningkatan permintaan pasar domestik dan internasional terhadap biomassa, khususnya untuk kebutuhan PLTU, industri *boiler*, serta pasar ekspor ke Jepang dan Korea. Potensi biomassa berlimpah dari limbah pertanian, perkotaan, dan agroforestri juga menjadi peluang untuk memperluas sumber bahan baku tanpa membuka lahan baru. Tidak kalah penting, adanya komitmen global terhadap transisi energi membuka akses bagi pendanaan hijau dan perdagangan karbon yang dapat mendukung investasi di sektor biomassa.

Penelitian ini menunjukkan sejumlah ancaman (*threats*) yang perlu diantisipasi. Salah satunya adalah keterbatasan lahan produksi di Pulau Jawa, di mana hanya sekitar 67.000 hektar yang dapat dimanfaatkan, sedangkan kebutuhan mencapai 189.849 hektar untuk mendukung program co-firing 5%. Keterbatasan infrastruktur logistik seperti akses jalan dan fasilitas pelabuhan juga masih menjadi hambatan utama dalam efisiensi distribusi. Dari aspek sosial, terdapat isu keamanan dan resistensi masyarakat terhadap pengoperasian pabrik RDF akibat gangguan bau dan dampak lingkungan. Di sisi lain, persaingan dengan energi fosil dan volatilitas harga biomassa global berpotensi menurunkan daya saing ekonomi produk *woodchip* di pasar energi nasional.

4. Matriks SWOT

Tabel. 3. Tabel Matriks Analisis SWOT

Faktor Internal/Eksternal	Opportunities (Peluang)	Threats (Ancaman)
Strengths (Kekuatan)	Strategi SO: 1. Ekspansi Kapasitas Terencana - Manfaatkan dukungan kebijakan EBT nasional untuk memperluas pabrik woodchip berbasis sumber daya lokal. 2. Optimalisasi Kemitraan Hulu - Gunakan kolaborasi	Strategi ST: 1. Intensifikasi Lahan dan Inovasi - Gunakan teknologi & sinergi dengan Perhutani untuk meningkatkan produktivitas lahan dan mengurangi tekanan atas keterbatasan lahan. 2. Rantai Pasok Terpadu & Keamanan - Libatkan Babinsa/Inkopad untuk
	Perhutani, masyarakat, swasta untuk memastikan bahan baku stabil.	menjamin distribusi aman & efisien.
Weaknesses (Kelemahan)	Strategi WO: 1. Peningkatan Kapasitas & SDM - Manfaatkan program pemerintah dan pelatihan untuk atasi keterbatasan kapasitas & tenaga ahli. 2. Diversifikasi Bahan Baku - Kembangkan pasokan dari limbah pertanian, sampah organik, hutan rakyat agar tidak bergantung pada satu sumber.	Strategi WT: 1. Peningkatan Bertahap & Efisiensi Produksi - Kembangkan skala produksi secara bertahap dengan efisiensi proses dan teknologi pengeringan untuk optimalkan hasil. 2. Antisipasi Risiko Pasar & Regulasi – Bangun fleksibilitas produksi & adaptasi terhadap volatilitas harga dan perubahan kebijakan.

Tabel diatas merupakan matriks dari analisis SWOT. Analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) merupakan alat strategis untuk mengidentifikasi posisi kompetitif dan arah kebijakan pengembangan industri *woodchip* di Pulau Jawa dalam mendukung program transisi energi nasional. Hasil analisis yang diperoleh dari studi lapangan, wawancara, dan literatur menunjukkan bahwa sektor biomassa memiliki potensi besar untuk mendukung bauran energi nasional, namun masih menghadapi sejumlah kendala struktural dan teknis. Penerapan pendekatan SWOT memungkinkan peneliti untuk merumuskan strategi yang bersifat adaptif dan kontekstual terhadap dinamika lingkungan internal dan eksternal.

Strategi SO bertujuan memanfaatkan kekuatan internal industri *woodchip* untuk meraih peluang eksternal yang tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pulau Jawa memiliki keunggulan teknologi melalui penerapan sistem *co-firing* yang efisien serta pemanfaatan peralatan modern seperti *Ecostan conveyor* dan *mobile chipping unit* yang mampu menurunkan kadar air *woodchip* di bawah 15% (Arifin et al., 2023). Kekuatan ini perlu diintegrasikan dengan peluang eksternal berupa dukungan kebijakan pemerintah dalam percepatan transisi energi terbarukan sebagaimana tertuang dalam Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan.

Strategi SO diarahkan pada ekspansi kapasitas terencana melalui pembangunan pabrik baru berbasis sumber daya lokal, penguatan kemitraan hulu dengan Perum Perhutani, serta pemberdayaan masyarakat sekitar hutan. Pendekatan ini sejalan dengan temuan Erdiwansyah et al., (2024) yang menegaskan bahwa keterlibatan masyarakat lokal dalam rantai pasok biomassa meningkatkan stabilitas pasokan hingga 30% dan menekan biaya logistik hingga 18%. Kolaborasi multipihak—antara pemerintah daerah, koperasi petani hutan, dan investor swasta—menjadi model efektif dalam memperluas produksi *woodchip* tanpa menambah tekanan pada lahan produktif.

Selain itu, dukungan kebijakan nasional melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan bauran EBT sebesar 23% pada 2025 menciptakan peluang besar bagi investasi sektor biomassa (Kementerian ESDM, 2023). Dalam konteks ini, kekuatan teknologi efisien dan akses bahan baku lokal menjadi dasar bagi penerapan strategi ekspansi kapasitas terencana. Model serupa telah berhasil diterapkan di Thailand, di mana integrasi *biomass hub regional* meningkatkan output produksi hingga 40% dengan biaya distribusi yang lebih rendah (Wongchai et al., 2025). Dengan demikian, strategi SO tidak hanya berorientasi pada peningkatan volume produksi, tetapi juga memastikan rantai nilai biomassa tetap efisien, inklusif, dan berkelanjutan.

Strategi WO menitikberatkan pada pemanfaatan peluang eksternal untuk mengatasi kelemahan internal. Berdasarkan hasil penelitian, dua kelemahan utama industri *woodchip* di Pulau Jawa adalah keterbatasan sumber daya manusia (SDM) teknis serta ketergantungan tinggi terhadap pasokan eksternal. Keterbatasan ini menyebabkan produktivitas rendah dan fluktuasi pasokan yang menghambat kontinuitas operasional. Untuk mengatasinya, strategi WO diarahkan pada peningkatan kapasitas SDM melalui program pelatihan teknis, sertifikasi operator, dan standarisasi mutu *woodchip* nasional.

Menurut Ghaffariyan, (2023), standar teknis yang seragam—terutama dalam kadar air,

ukuran partikel, dan kandungan abu—meningkatkan efisiensi pembakaran hingga 9% dan menurunkan emisi SO₂ hingga 14%. Oleh karena itu, peningkatan kompetensi tenaga kerja yang memahami standar mutu biomassa menjadi krusial dalam menjaga kualitas dan konsistensi produk. Pemerintah daerah dapat berperan sebagai fasilitator dalam penyediaan pusat pelatihan bioenergi terapan berbasis komunitas.

Selain penguatan SDM, diversifikasi bahan baku juga menjadi pilar utama strategi WO. Dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti jerami padi, sekam, dan tongkol jagung, industri *woodchip* dapat memperluas basis pasokan tanpa perlu membuka lahan baru. Penelitian oleh Triani et al., (2024) menunjukkan bahwa integrasi limbah pertanian ke dalam rantai pasok biomassa dapat meningkatkan ketersediaan bahan baku hingga 22% dan menurunkan biaya operasional PLTU sebesar 3,8% per tahun. Hal serupa juga diungkap oleh Squire et al., (2024) yang menemukan bahwa pemanfaatan sampah kota dan residu agroindustri mampu meningkatkan kapasitas *co-firing* hingga 10% tanpa menambah beban lingkungan. Diversifikasi bahan baku ini sekaligus mengurangi ketergantungan pada pasokan tunggal dari Perhutani dan hutan tanaman energi. Pendekatan berbasis *multi-feedstock supply chain* telah terbukti memperkuat resiliensi pasokan biomassa di Korea Selatan dan Jepang, di mana variasi bahan baku memungkinkan adaptasi terhadap fluktuasi harga dan musim (Ma et al., 2023). Dengan demikian, strategi WO berperan ganda: meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan memperluas ketersediaan bahan baku, yang keduanya akan memperkuat posisi kompetitif industri biomassa nasional.

Strategi ST dirancang untuk memanfaatkan kekuatan internal dalam mengantisipasi ancaman eksternal yang dapat menghambat perkembangan industri *woodchip*. Salah satu ancaman paling signifikan adalah keterbatasan lahan produksi di Pulau Jawa, di mana hanya sekitar 67.000 hektar yang dapat digunakan dibandingkan kebutuhan ideal sebesar 189.849 hektar (Rimantho et al., 2023). Untuk mengatasi hal ini, strategi ST difokuskan pada intensifikasi lahan melalui penerapan teknologi

tinggi dan optimalisasi lahan yang ada, bukan melalui ekspansi horizontal. Menurut penelitian Lestari et al., (2024), sistem tanam zigzag pada tanaman energi seperti sorgum mampu meningkatkan hasil biomassa hingga 56 ton per hektar per musim. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi agronomis dapat menjadi solusi dalam meningkatkan produktivitas tanpa memperluas area tanam. Selain itu, penggunaan teknologi *precision forestry* berbasis GIS dan *remote sensing* memungkinkan pemantauan produktivitas lahan secara *real-time*, sebagaimana diterapkan di Finlandia untuk manajemen hutan energi (Kärhä et al., 2022). Penerapan teknologi tersebut di Indonesia dapat meningkatkan efisiensi lahan hingga 18% dan menurunkan biaya operasional pengangkutan bahan baku hingga 12%.

Ancaman lain yang signifikan adalah lemahnya infrastruktur rantai pasok. Hasil penelitian Fajar et al., (2023) menunjukkan bahwa Indonesia masih berada di peringkat ke-46 dari 160 negara dalam *Logistics Performance Index* (LPI) dengan skor 3,15. Untuk mengatasinya, strategi ST mendorong pembentukan rantai pasok terpadu melalui pembangunan *bio-hub regional* yang berfungsi sebagai pusat konsolidasi biomassa. Pendekatan ini selaras dengan temuan Valipour et al., (2024), yang menunjukkan bahwa sistem *bio-hub* dapat mengurangi jarak transportasi langsung ke PLTU hingga 35% dan menjaga kadar air biomassa di bawah 20%, sehingga efisiensi energi meningkat secara signifikan. Selain itu, aspek keamanan distribusi menjadi perhatian penting dalam rantai pasok biomassa. Melibatkan aparat lokal seperti Babinsa dan Inkopad dalam pengawasan distribusi bahan baku dapat mencegah pencurian dan memperkuat stabilitas pasokan, terutama di daerah dengan risiko sosial tinggi. Hal ini sejalan dengan rekomendasi Boonman et al., (2025) yang menegaskan bahwa integrasi aspek sosial-keamanan dalam desain rantai pasok berkelanjutan meningkatkan keandalan distribusi hingga 25% dan memperkuat kepercayaan stakeholder lokal.

Strategi WT difokuskan untuk meminimalkan kelemahan internal dan sekaligus menghindari ancaman eksternal. Dalam konteks

ini, dua isu dominan yang harus diatasi adalah keterbatasan kapasitas produksi dan volatilitas harga biomassa di pasar global.

Berdasarkan analisis empiris oleh Kristöfel et al., (2014), fluktuasi harga bahan bakar biomassa memiliki volatilitas tinggi akibat interaksi antara pasar energi fosil dan kebijakan karbon. Ketidakpastian harga ini berdampak langsung terhadap stabilitas pendapatan produsen *woodchip* dan daya saing di pasar energi nasional. Untuk mengatasi hal tersebut, strategi WT mendorong peningkatan efisiensi produksi melalui inovasi teknologi pengeringan berbasis panas limbah (*waste heat recovery system*). Studi oleh Baisir et al., (2024) menunjukkan bahwa sistem pengeringan biomassa dengan pemanfaatan panas buang boiler dapat meningkatkan nilai ekonomi proyek melalui peningkatan *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 12–15%, serta mempercepat *payback period* hingga 18%. Efisiensi ini bukan hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga memperkuat daya saing terhadap energi fosil.

Selain efisiensi teknis, strategi WT juga menekankan pentingnya mitigasi risiko pasar dan kebijakan melalui diversifikasi kontrak dan fleksibilitas produksi. Pendekatan ini didukung oleh temuan Nguyen et al., (2021), yang menekankan bahwa penggunaan model stok dan alokasi berbasis *stochastic optimization* dapat meningkatkan ketahanan rantai pasok terhadap fluktuasi harga dan permintaan hingga 20%. Dengan demikian, strategi WT tidak hanya berfokus pada efisiensi operasional, tetapi juga pada ketahanan ekonomi jangka panjang industri biomassa nasional.

Secara keseluruhan, hasil analisis SWOT dan strategi turunannya menunjukkan bahwa keberlanjutan industri *woodchip* di Pulau Jawa memerlukan pendekatan integratif antara aspek teknis, ekonomi, sosial, dan kebijakan. Strategi SO dan WO memberikan arah untuk penguatan kapasitas internal melalui ekspansi produksi dan pengembangan SDM, sedangkan strategi ST dan WT menekankan pentingnya efisiensi, keamanan, dan adaptasi terhadap risiko eksternal. Keterpaduan antarstrategi ini menjadi dasar

penyusunan roadmap pengembangan industri biomassa nasional yang berorientasi pada kemandirian energi dan ekonomi hijau.

5. Diversifikasi Sumber Energi dan Transisi Energi

Berdasarkan indikator triangulasi seperti ketersediaan dan kedekatan permintaan, secara langsung mendukung diversifikasi sumber energi dengan mengoptimalkan residu lokal seperti jerami padi dan limbah kayu Acacia untuk *co-firing* di PLTU, mengurangi impor fosil yang mencapai 80% bauran energi nasional dan menekan biaya operasional PLTU hingga 38% per tahun. Studi Triani et al. (2024) melalui *review* pemetaan potensi biomassa di Jawa mengonfirmasi adanya potensi residu biomassa sebesar 143,58 juta ton per tahun, yang selaras dengan temuan ini untuk memanfaatkan lahan tidak produktif tanpa deforestasi tambahan, sehingga memperkuat diversifikasi melalui suplai biomassa domestik yang stabil. Selain itu, data Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dari Kementerian ESDM menargetkan bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) 23% pada 2025, di mana *woodchip* berkontribusi sebagai sumber baseload terbarukan untuk mengimbangi intermitensi sumber seperti surya dan angin, mengurangi ketergantungan pada batu bara impor senilai Rp 200 triliun per tahun.

Strategi berkelanjutan dari analisis SWOT mengintegrasikan *woodchip* sebagai *baseload* terbarukan, melengkapi sumber intermiten seperti surya yang hanya menyumbang 0,5% bauran EBT pada 2024, sehingga mempercepat transisi energi melalui pengurangan emisi CO₂ hingga 15% dan peningkatan efisiensi sistem PLTU menjadi 74%. Penelitian Squire et al. (2024) tentang viabilitas *co-firing* biomassa limbah di Indonesia menunjukkan bahwa *rasio co-firing* rendah (5-10%) dapat menurunkan emisi karbon tanpa memerlukan penanaman baru yang berisiko, mendukung temuan ini di mana strategi WO dan SO dari SWOT mengatasi keterbatasan lahan dengan kemitraan Perhutani untuk pasokan 10,2 juta ton biomassa pada 2025. Simulasi Margawadi et al. (2025) pada PLTU 615 MW mengindikasikan bahwa *co-firing wood pellet*

hingga 10% pada beban penuh *feasible* secara teknis, dengan potensi pendapatan dari kredit karbon hingga Rp 50 miliar per PLTU, yang memperkuat integrasi *woodchip* dalam transisi energi menuju Net Zero Emission 2060.

Secara keseluruhan penelitian ini memberikan kerangka empiris yang koheren, di mana temuan mendukung target RUEN dengan potensi listrik hijau 1,67 juta MWh dari biomassa pada 2024 seperti dilaporkan PLN, meskipun tantangan lahan sebesar kesenjangan 189.849 ha memerlukan harmonisasi kebijakan lebih lanjut melalui Permen ESDM No. 12/2023 yang memberikan insentif fiskal untuk industri biomassa. Studi Rimantho et al. (2023) menggunakan *Interpretive Structural Modeling* (ISM) dan TOPSIS menekankan insentif pemerintah sebagai strategi utama (skor 0,825) untuk pengembangan bioenergi berbasis kayu, selaras dengan rekomendasi SWOT untuk pelatihan SDM dan optimalisasi logistik yang menghemat waktu pasok hingga 44%. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mencatat produksi *woodchip* dari Koperasi Unit Pengolahan dan Pemasaran Sumber Daya Hutan (KUPS) mencapai 500.000 ton pada 2024, yang dapat ditingkatkan melalui strategi ST untuk mengantisipasi volatilitas harga dan memastikan keberlanjutan rantai pasok. Dengan demikian, pengembangan *woodchip* di Jawa tidak hanya mendiversifikasi sumber energi tetapi juga mempercepat transisi dengan mengurangi emisi SO₂ signifikan dan menciptakan 10.000 lapangan kerja baru di sektor hulu, sebagaimana diproyeksikan dalam Kebijakan Energi Nasional 2025-2045.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat indikator utama untuk alokasi produksi *woodchip*, yaitu ketersediaan biomassa dengan potensi residu pertanian 143,58 juta ton per tahun meskipun kesenjangan lahan 189.849 ha, aksesibilitas transportasi yang dioptimalkan hingga mengurangi waktu pasok 44% melalui conveyor dan chipping mobile, kedekatan permintaan dalam radius 80 km ke 16 PLTU dengan kapasitas 14.645 MW menggunakan metode Center of Gravity, serta dukungan kebijakan seperti Permen ESDM No. 12/2023

yang memberikan insentif fiskal untuk harmonisasi daerah. Temuan ini memastikan distribusi produksi efisien di Jawa untuk memenuhi target co-firing 5% pada 2025, dengan potensi penghematan biaya logistik hingga 38% melalui optimalisasi rantai pasok lokal.

Hasil Penelitian juga merumuskan strategi terintegrasi yang dapat mendukung produksi woodchip secara berkelanjutan di pulau Jawa dalam mendukung diversifikasi sumber energi dan transisi energi menggunakan analisis SWOT. kekuatan seperti teknologi efisien dan kolaborasi multi-stakeholder dimanfaatkan melalui strategi SO untuk ekspansi kapasitas, ST untuk intensifikasi lahan, WO untuk pelatihan SDM dan diversifikasi bahan baku, serta WT untuk efisiensi bertahap dan antisipasi risiko pasar, sehingga memastikan pasokan stabil 10,2 juta ton biomassa pada 2025 tanpa deforestasi tambahan. Strategi ini mengintegrasikan observasi lapangan dari PT Vin Gold Bioenergy, termasuk produksi 3.000 ton/bulan dengan purifier untuk mitigasi lingkungan, mendukung keberlanjutan melalui peningkatan efisiensi boiler PLTU menjadi 74%.

Temuan dari kedua rumusan masalah secara keseluruhan mendukung diversifikasi sumber energi dengan mengintegrasikan woodchip sebagai baseload terbarukan untuk mengurangi dominasi fosil hingga 80% bauran nasional dan menekan biaya PLTU hingga 38%, sekaligus mempercepat transisi energi melalui co-firing yang menurunkan emisi CO₂ 15% dan mencapai potensi 1,67 juta MWh listrik hijau seperti capaian PLN 2024, selaras dengan target RUEN untuk bauran EBT 23% dan Net Zero Emission 2060.

REKOMENDASI

Peneliti menilai perlunya implementasi hasil penelitian untuk pemecahan masalah masalah praktis bagi pihak-pihak terkait (stakeholder) dan penelitian/kajian lanjutan dari hasil penelitian. Secara teoretis, disarankan untuk mengembangkan model matematis berbasis *stochastic optimization* yang memprediksi volatilitas harga dan fluktuasi pasokan biomassa woodchip, dengan mengintegrasikan variabel seperti musiman residu pertanian dan dampak iklim, sehingga memperkaya teori rantai pasok

bioenergi di konteks tropis seperti Pulau Jawa. Selain itu, diperlukan studi kasus lanjutan mengenai integrasi woodchip dengan sumber intermiten seperti surya dan angin, fokus pada evaluasi emisi jangka panjang dan efisiensi sistem hibrida, untuk memperkuat kerangka teori transisi energi di negara berkembang. Terapkan juga analisis multikriteria seperti ISM-TOPSIS pada pengembangan bioenergi berbasis kayu dengan mengeksplorasi interaksi antara faktor teknis, ekonomi, dan sosial, guna mengembangkan teori keberlanjutan rantai pasok di wilayah padat penduduk. Penelitian masa depan juga bisa melakukan pembobotan matrix, seperti *Analytic Hierarchy Process* (AHP) pada matriks SWOT, untuk menentukan strategi terbaik dalam alokasi produksi woodchip, sehingga meningkatkan akurasi prioritas berdasarkan bobot relatif indikator seperti ketersediaan biomassa dan dukungan kebijakan.

Secara praktis, diperlukan untuk memperkuat kemitraan hulu-hilir antara Perhutani, koperasi petani, dan swasta melalui bio-hub regional untuk mengatasi kesenjangan lahan, sambil menerapkan teknologi purifier dan GIS-AHP untuk menekan biaya logistik hingga 22% dan mitigasi dampak lingkungan. Harmonisasi Rencana Umum Energi Daerah (RUED) dengan insentif fiskal tambahan seperti *feed-in tariff* dan pembebasan PPN lebih lanjut berdasarkan Permen ESDM No. 12/2023 juga direkomendasikan, untuk mendorong investasi co-firing 10% di PLTU dan mencapai target biomassa 10,2 juta ton pada 2025 tanpa impor fosil. Prioritaskan pelatihan SDM teknis bagi operator pabrik dan petani hutan melalui program nasional, termasuk sertifikasi mutu woodchip (kadar air

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Ember. (2024). *Indonesia's Expansion of Clean Power Can Spur Growth and Equality*. Ember – Latest Insights. Diakses 28 April 2025, dari <https://ember-energy.org/latestinsights/indonesias-expansion-of-clean-power-can-spur-growth-and-equality/>
- Direktorat Bioenergi, Kementerian ESDM. (2025). *Laporan Capaian Pemanfaatan*

- Biomassa untuk Cofiring PLTU (Update 2023–2024)*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Pertahanan. (2015). *Buku putih pertahanan Indonesia* (3rd ed.). Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. (2023). *Laporan Implementasi Cofiring Biomassa Tahun 2023*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE, Kementerian ESDM. (*Laporan resmi KESDM mengenai pelaksanaan dan perkembangan co-firing biomassa pada pembangkit listrik sepanjang tahun 2023*).
- Kuntjoro, Y. D. (2021). *Bahan ajar energi untuk pertahanan*. Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- PT. PLN (Persero). (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) 2021 - 2030*. PT. PLN (Persero).
- Artikel Jurnal**
- Ahmudi, A., Hudaya, C., Garniwa, I., Amraini, S. Z., Sugiyono, A., Semedi, J. M., Sidqi, M. A., Daulay, A. D. K., & Yumnaristya, S. H. (2025). Optimizing Potential Supply Chain of Biomass Agricultural Waste for Co-firing of Coal Power Plant Using MCDA, GIS, and Linear Programming in the Java and Sumatra Islands, Indonesia. *Leuser Journal of Environmental Studies*, 3(1), 1–19. <https://doi.org/10.60084/ljes.v3i1.249>
- Ardian, H. Y., Lubis, D. P., Muljono, P., & Azahari, D. H. (2018). Multi Stakeholder Engagement in Indonesia Sustainable Palm Oil Governance. *Jurnal Manajemen Dan Agribisnis*, 15(1), 96–105. <https://doi.org/10.17358/jma.15.1.96>
- Arifin, Z., Insani, V. F. S., Idris, M., Hadiyati, K. R., Anugia, Z., & Irianto, D. (2023). TechnoEconomic Analysis of Co-firing for Pulverized Coal Boilers Power Plant in Indonesia.
- Baisir, M., Surjosatyo, A., & Dafiqurrohman, H. (2024). Techno-Economic Analysis of Boiler Waste Heat-Based Biomass Drying System of a Coal Cofiring Power Plant. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(3), 1681–1699. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1858>
- Bastos, T., Teixeira, L. C., Matias, J. C. O., & Nunes, L. J. R. (2023). Agroforestry Biomass Recovery Supply Chain Management: A More Efficient Information Flow Model Based on a Web Platform. *Logistics*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/logistics7030056>
- Bojić, S., Đatkov, Đ., Brcanov, D., Georgijević, M., & Martinov, M. (2013). Location allocation of solid biomass power plants: Case study of Vojvodina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 769–775. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.039>
- Boonman, A., Fukuda, S., Tiwari, S., & Kraxner, F. (2025). Two-Phase Approach for Designing Sustainable Biomass Supply Chains for Community-Scale Biomass Power Plants in Thailand. *Energies*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/en18030520>
- Erdiwansyah, Gani, A., Mamat, R., Bahagia, Nizar, M., Yana, S., Mat Yasin, M. H., Muhibbuddin, & Rosdi, S. M. (2024). Prospects for renewable energy sources from biomass waste in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100880. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csce.2024.100880>
- Fajar, M. N., Fikri, A., Arkan, M. T., & Sahara, S. (2023). Lemahnya Mutu Kualitas Infrastruktur Logistik Di Indonesia Berdampak Pada Perekonomian Nasional. *Cross-Border*, 6(1), 389–399.
- Ghaffariyan, M. R. (2023). Identifying key quality characteristics of woody biomass for bioenergy application: an international review. *SILVA BALCANICA*, 24(3), 77–94. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.24.e114644>
- Kentkhute, R., Prihandoko, D., & Sriwinarno, H. (2024). *Design of Biomass Fuel as Energy*. Balanga: Jurnal Pendidikan Teknologi dan

- Kejuruan, 12(1), 16–23. <https://doi.org/10.37304/balanga.v12i1.14787> (*Desain pemanfaatan limbah biomassa kayu sebagai sumber energi alternatif, studi rekayasa kompor biomassa*).
- Kristöfel, C., Strasser, C., Morawetz, U. B., Schmidt, J., & Schmid, E. (2014). Analysis of woody biomass commodity price volatility in Austria. *Biomass and Bioenergy*, 65, 112–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.010>
- Kuncara, I., Nugroho, A., & Yulianti, D. (2024). *Pengembangan Rantai Pasok Biomassa Berkelanjutan untuk Cofiring PLTU*. *Jurnal Teknologi Energi*, 14(1), 75–85. (*Studi tentang strategi rantai pasokan biomassa yang efisien dan berkelanjutan untuk kebutuhan co-firing di PLTU*).
- Legowo, S., & Citarsa, I. B. F. (2025). Analisis Co-Firing Jenis Bahan Bakar Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler. *Ikraith-Teknologi*, 9(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v10i3> P-ISSN
- Legowo, S., Citarsa, I. B. F., & Adnyani, I. A. S. (2023). *Analisis pengaruh co-firing dengan variasi jenis bahan bakar biomassa terhadap efisiensi boiler di PLTU Jeranjang*. JTE UNIBA.
- Lestari, R., Magandhi, M., Rachmadiyanto, A. N., & Tyas, K. N. (2024). Genetic characterization of Indonesian sorghum landraces (*Sorghum bicolor* (L .) Moench) for yield traits. 9(June 2023), 129–147. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024008>
- Ma, C., Zhang, Y., & Ma, K. (2023). A method for determining the optimal number and location of biomass energy facilities. *Journal of Environmental Management*, 348, 119313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119313>
- Nainggolan, H. (2023). *Cofiring Biomassa sebagai Akselerasi Transisi Energi di PLTU*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(2), 50–58. (*Analisis peran co-firing biomassa di pembangkit listrik tenaga uap dalam mendukung transisi energi bersih*).
- Nguyen, D. D., Nananukul, N., & Meejaroen, P. (2021). Multi-objective models for biomass supply chain planning with economic and carbon footprint consideration. *Energy Reports*, 7, 6833–6843. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.10.071>
- Pramaita, I. dan Kumara, T. (2020). *Woodchip sebagai Sumber Energi Biomassa yang Ramah Lingkungan*. *Jurnal Teknologi Energi*, 11(2), 45–53. (*Ulasan mengenai karakteristik woodchip dan pemanfaatannya sebagai bahan bakar ramah lingkungan di berbagai sektor industri*).
- Rimantho, D., Hidayah, N. Y., Pratomo, V. A., Saputra, A., Akbar, I., & Sundari, A. S. (2023). The strategy for developing wood pellets as sustainable renewable energy in Indonesia. *Heliyon*, 9(3), e14217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14217>
- Squire, C. V, Lou, J., & Hilde, T. C. (2024). The viability of co-firing biomass waste to mitigate coal plant emissions in Indonesia. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 423. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01588-0>
- Sylviani, S. dan Suryandari, E. Y. (2013). *Potensi Pengembangan Industri Pelet Kayu sebagai Bahan Bakar Terbarukan: Studi Kasus di Kabupaten Wonosobo*. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(4), 235–246. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2013.10.4.235-246> (*Penelitian potensi industri pelet kayu/wood pellet sebagai sumber energi terbarukan di Wonosobo*).
- Triani, M., Anggoro, D. D., & Yunianto, V. D. (2024). *Potensi Dekarbonisasi Pembangkit Listrik Batubara melalui Cofiring Biomassa dan Carbon Capture Utilization*. *METANA*, 20(1), 57–68. <https://doi.org/10.14710/metana.v20i1.63102> (*Kajian potensi pengurangan emisi PLTU batubara melalui co-firing biomassa dan penerapan teknologi carbon capture*).
- Triani, M., Nurfanani, A., Aditya, I. A., Widayat, W., Susanty, A., Kristianingsih, I., Hasibuan, P. S., Dalanta, F., & Silviana, S. (2024). Mapping analysis of biomass potential on Java Island for supporting power plant: A review. *E3S Web of Conferences*, 519.

- <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451902012>
- Valipour, M., Mafakheri, F., Gagnon, B., Prinz, R., Bergström, D., Brown, M., & Wang, C. (2024). Integrating bio-hubs in biomass supply chains: Insights from a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 467(May). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142930>
- Wahono, J. W., WIJANARKO, B. D., SUMARWAN, U., ARIFIN, B., & PURNOMO, H. (2018). Sustainable Supply Chain in the Development of Renewable Energy Base on Bamboo Forest Biomass (Development Solution for Underdeveloped Areas in Indonesia). *Journal of Business Studies and Mangement Review*, 1(2), 79–88. <https://doi.org/10.22437/jb.v1i2.5356>
- Wang, W. (2023). Integrated Assessment of Economic Supply and Environmental Effects of Biomass Co-Firing in Coal Power Plants: A Case Study of Jiangsu, China. *Energies*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/en16062725>
- Wongchai, W., Onsee, T., Nawapanan, E., Promwungkwa, A., Mona, Y., & Tippayawong, N. (2025). Integrated environmental, energy, and economic analysis of woodchips production supply chains for fast-growing trees in Thailand. *Energy*, 336, 138374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138374>
- Yoshida, M. (2019). Allocation of Mobile Chippers for a Concentrated Bioenergy Demand. *Open Journal of Forestry*, 09, 283–295. <https://doi.org/10.4236/ojf.2019.94016>
- Yuliani, E. L., Moeliono, M., Labarani, A., Fisher, M. R., Tias, P. A., & Sunderland, T. (2023). Relational values of forests: Value-conflicts between local communities and external programmes in Sulawesi. *People and Nature*, 5(6), 1822–1838. <https://doi.org/10.1002/pan3.10389>
- Yusmur, A., Ardiansyah, R., & Marlinda, S. (2022). Biomass Sources for Sustainable Bioenergy Production in Indonesia. *BIODIVERS - BIOTROP Science Magazine*, 1(2), 21–26. <https://doi.org/10.56060/bdv.2022.1.2.1977>
- Zakia, R., & Sunitiyoso, Y. (2025). Biomass Co-Firing for Electricity in Indonesia: A System Thinking Approach. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 5(8), 9702–9720.
- Zamri, M. F. M. A., Milano, J., Shamsuddin, A. H., Roslan, M. E. M., Salleh, S. F., Rahman, A. A., Bahru, R., Fattah, I. M. R., & Mahlia, T. M. I. (2022). An overview of palm oil biomass for power generation sector decarbonization in Malaysia: Progress, challenges, and prospects. *WIREs Energy and Environment*, 11(4), e437. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wene.437>
- Zurba, M., & Bullock, R. (2020). Bioenergy development and the implications for the social wellbeing of Indigenous peoples in Canada. *Ambio*, 49(1), 299–309. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01166-1>

Undang-Undang dan Peraturan

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2002 Tentang Pertahanan Negara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. (2014). Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 300. (*Kerangka kebijakan nasional terkait target bauran Energi Baru Terbarukan 23% pada tahun 2025*).
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 4. (*Pengaturan rencana umum energi nasional (RUEN) termasuk target bauran EBT 23% pada 2025 dan 31% pada 2050*).
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2023 tentang Pelaksanaan Cofiring Biomassa pada PLTU. (2023). Berita Negara