

Pemanfaatan Ranting *Pruning* Jati dan Serasah Daun Area Reklamasi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban Sebagai Bahan Bakar Alternatif Berkelanjutan

Agus Setyo Budi*, Arthur Hajar Hantoro, Agrifa Tarigan, Moch. Khalik Hermawanto

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban, Jawa Timur

*Koresponden email: agus.budi@sig.id

Diterima: 3 Oktober 2025

Disetujui: 14 Oktober 2025

Abstract

The cement industry is one of the sectors with high energy intensity and a significant contributor to greenhouse gas emissions. This study aims to evaluate the utilization of biomass waste in the form of teak pruning twigs and leaf litter from the post-mining reclamation area of PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Tuban Plant as a sustainable alternative fuel. The methods used include the collection, natural drying, and shredding of biomass to a size of less than 2 cm, which is then used as a partial substitute for coal in the kiln combustion process. The results show that this innovation successfully reduced heat energy consumption by 1008 GJ, saved operational costs of IDR 32,800,913, and reduced carbon emissions by approximately CO₂ 96.728 tons of CO₂ from January 2024 to June 2025. This program not only improved energy efficiency and environmental performance but also transformed the value chain into a more collaborative and sustainable one, supporting the principles of the circular economy.

Keywords: *teak biomass, alternative fuel, energy efficiency, cement kiln, circular economy*

Abstrak

Industri semen merupakan salah satu sektor dengan intensitas energi tinggi dan kontributor emisi gas rumah kaca yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah biomassa berupa ranting *pruning* jati dan serasah daun dari area reklamasi pasca tambang PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban sebagai bahan bakar alternatif yang berkelanjutan. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan, pengeringan alami, dan pencacahan biomassa menjadi ukuran kurang dari 2 cm, yang kemudian digunakan sebagai substitusi parsial batu bara dalam proses pembakaran kiln. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inovasi ini berhasil mengurangi konsumsi energi panas sebesar 1008 GJ, menghemat biaya operasional sebesar Rp 32.800.913, serta mengurangi emisi karbon sebesar 96,728 ton CO₂ selama bulan Januari 2024 hingga Juni 2025. Program ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi dan kinerja lingkungan, tetapi juga mentransformasi rantai nilai menjadi lebih kolaboratif dan berkelanjutan, serta mendukung prinsip ekonomi sirkular.

Kata Kunci: *biomassa jati, bahan bakar alternatif, efisiensi energi, kiln semen, ekonomi sirkular*

1. Pendahuluan

Industri semen merupakan sektor vital dalam pembangunan infrastruktur nasional dan global. Namun, proses produksinya sangat bergantung pada energi termal dan listrik, menjadikannya sebagai salah satu industri dengan intensitas energi tertinggi dan penyumbang signifikan terhadap emisi gas rumah kaca (GRK). Menurut [1], sektor semen menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO₂ global, terutama dari proses pembakaran batu bara dalam kiln untuk produksi klinker. Hal ini menimbulkan tantangan besar dalam upaya dekarbonisasi industri berat dan transisi menuju ekonomi rendah karbon. Di Indonesia, konsumsi energi di sektor industri mencapai lebih dari 30% dari total energi nasional, dengan industri semen sebagai salah satu kontributor utama[2].

utama tidak hanya berdampak pada tingginya biaya operasional, tetapi juga memperburuk jejak karbon perusahaan. Permasalahan utama yang dihadapi adalah belum optimalnya pemanfaatan sumber energi alternatif yang tersedia secara lokal, seperti biomassa limbah kayu, yang berpotensi menggantikan sebagian batu bara dalam proses pembakaran kiln. Pemerintah telah menetapkan berbagai kebijakan untuk mendorong transisi energi, termasuk Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan[3]. Selain itu, program PROPER dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menjadi instrumen evaluasi kinerja lingkungan perusahaan, mendorong inovasi yang tidak hanya efisien secara teknis tetapi juga berdampak positif terhadap lingkungan dan sosial[4].

Ide penelitian ini bermula dari pengamatan langsung terhadap pola konsumsi energi di industri semen, khususnya pada proses pembakaran kiln yang masih didominasi oleh batu bara. Di sisi lain, tersedia limbah biomassa lokal berupa kayu jati dari kegiatan industri dan masyarakat sekitar yang belum dimanfaatkan secara sistematis. Melalui program efisiensi energi internal dan dorongan PROPER, tim inovasi di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban mulai merancang pendekatan substitusi parsial batu bara dengan biomassa kayu jati, yang kemudian diuji dalam skala operasional terbatas. Hasil awal menunjukkan potensi signifikan dalam pengurangan emisi dan konsumsi energi, sehingga mendorong perlunya kajian akademik yang lebih mendalam terhadap efektivitas dan replikabilitas inovasi ini. Limbah kayu jati, yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal, memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif dengan nilai kalor yang cukup tinggi dan emisi yang lebih rendah dibandingkan batu bara[5]. Pemanfaatan biomassa lokal ini juga mendukung prinsip circular economy dan pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil[6].

Studi terdahulu [7] menunjukkan bahwa biomassa kayu jati yang mengalami proses torefaksi atau pengeringan termal dapat meningkatkan densitas energi dan kestabilan pembakaran. Torefaksi microwave pada kayu jati meningkatkan nilai kalor hingga 20% dan menurunkan kadar air secara signifikan, sehingga lebih efisien digunakan dalam sistem pembakaran kiln. Selain itu, penggunaan biomassa sebagai bahan bakar alternatif telah terbukti mampu menurunkan emisi CO₂ dan partikel halus, serta meningkatkan efisiensi termal pada proses produksi[8].

Penelitian lain juga menyoroti potensi biomassa sebagai solusi energi berkelanjutan di Asia Tenggara. Studi oleh [9] menyatakan bahwa biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan, terutama jika dikembangkan dengan teknologi konversi yang tepat. Dalam konteks industri semen, [10] mengidentifikasi biomassa sebagai salah satu teknologi emerging yang dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi secara signifikan.

Inovasi pemanfaatan biomassa limbah kayu jati sebagai substitusi parsial batu bara tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan konsumsi energi fosil dan emisi GRK, tetapi juga meningkatkan nilai kinerja lingkungan perusahaan dalam penilaian pengelolaan lingkungan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa solusi berbasis sumber daya lokal dan teknologi sederhana dapat memberikan dampak besar terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas inovasi tersebut dalam proses pembakaran kiln, dengan fokus pada aspek efisiensi energi, pengurangan emisi, dan potensi replikasi di unit produksi lainnya. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan kebijakan energi alternatif di industri semen serta mendukung pencapaian target transisi menuju industri rendah karbon.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban, yang merupakan salah satu unit produksi utama dalam SIG Group. Lokasi ini dipilih karena menjadi tempat implementasi langsung inovasi efisiensi energi yang menggunakan biomassa limbah kayu jati sebagai substitusi parsial batu bara dalam proses pembakaran kiln. Kegiatan pengumpulan data dilakukan selama periode inovasi bulan Januari 2024 hingga Juli 2025, dengan observasi operasional dan lingkungan berlangsung selama tiga bulan berturut-turut. Pemilihan waktu tersebut mempertimbangkan kestabilan operasional kiln dan ketersediaan bahan baku biomassa dari sumber lokal.

Jenis inovasi yang dikaji dalam penelitian ini termasuk dalam kategori inovasi teknis di bidang efisiensi energi. Inovasi ini berfokus pada pemanfaatan limbah biomassa kayu jati, yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal, sebagai bahan bakar alternatif untuk menggantikan sebagian konsumsi batu bara. Biomassa digunakan dalam bentuk cacahan kering, dengan ukuran dan kadar air yang telah disesuaikan agar sesuai dengan karakteristik sistem pembakaran kiln. Proses pengeringan dilakukan secara alami di area terbuka, dan sebagian melalui metode torefaksi ringan untuk meningkatkan nilai kalor dan kestabilan pembakaran.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan inovasi yang dirancang untuk memastikan efektivitas substitusi parsial batu bara dengan biomassa limbah kayu jati dalam proses pembakaran kiln. Prosedur ini bersifat aplikatif dan berbasis operasional, dilakukan langsung di lingkungan industri PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban.

1. Pembentukan Tim

Tahap awal dimulai dengan pembentukan tim lintas fungsi yang terdiri dari personel perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan evaluasi. Tim ini dibentuk oleh manajemen pabrik dan bertanggung

jawab penuh terhadap pelaksanaan inovasi, mulai dari desain teknis hingga pemantauan hasil. Koordinasi dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa setiap langkah berjalan sesuai dengan standar operasional dan target efisiensi energi.

2. Persiapan Kompetensi Personel

Sebelum implementasi, dilakukan pelatihan intensif kepada personel yang terlibat, mencakup pemahaman teknologi biomassa, teknik pengelolaan bahan organik, serta aspek keselamatan kerja dan pengoperasian mesin pencacah. Pelatihan ini bertujuan untuk meningkatkan kapabilitas teknis dan memastikan bahwa proses berjalan aman dan efisien.

3. Persiapan Sumber Daya

Tahapan ini meliputi penyediaan fasilitas dan peralatan pendukung, seperti tempat pengumpulan dan pengeringan biomassa, mesin pencacah berkapasitas 2 ton per jam dengan tenaga 20 HP, serta alat transportasi internal untuk distribusi bahan ke area kiln. Semua sumber daya disiapkan di sekitar area tambang agar proses tetap lokal dan minim jejak karbon.

4. Pelaksanaan Aktivitas

Proses operasional dimulai dengan pengumpulan sisa-sisa daun dan ranting kayu jati dari lingkungan sekitar. Bahan dikeringkan secara alami untuk menurunkan kadar air, kemudian dicacah hingga berukuran kurang dari 2 cm agar sesuai dengan spesifikasi feeding kiln. Biomassa yang telah diproses kemudian didistribusikan ke sistem pembakaran kiln sebagai substitusi parsial batu bara, dengan persentase yang telah ditentukan dalam desain uji coba.

5. Monitoring dan Evaluasi

Setelah implementasi, dilakukan monitoring intensif terhadap tonase biomassa yang digunakan setiap bulan, kualitas bahan bakar alternatif, dan efisiensi substitusi terhadap konsumsi batu bara. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif, dengan membandingkan data sebelum dan sesudah inovasi, serta mengidentifikasi potensi perbaikan untuk replikasi di unit lain.

3. Hasil dan Pembahasan

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. memiliki area reklamasi pasca tambang seluas ± 115 hektar yang ditanami pohon jati sebagai bagian dari komitmen perusahaan terhadap rehabilitasi lingkungan dan konservasi lahan pasca tambang. Setiap tahun, pohon-pohon jati tersebut menghasilkan limbah biomassa berupa serasah daun dan ranting dari aktivitas pemangkasan (pruning).



Gambar 1. Sampah Serasah Daun Area Reklamasi

Pengaruh Terhadap Sistem Operasional Sebelum dan Sesudah Pemanfaatan

Sebelum implementasi program inovasi pemanfaatan biomassa limbah kayu jati, sistem operasional pembakaran kiln di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban sepenuhnya bergantung pada batu bara sebagai sumber energi utama. Batu bara digunakan dalam jumlah besar untuk menjaga suhu kiln tetap stabil dalam proses produksi klinker, yang merupakan komponen utama semen. Ketergantungan ini menyebabkan tingginya biaya operasional, terutama dalam hal pengadaan bahan bakar dan transportasi internal. Selain itu, emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara sangat tinggi, berkontribusi langsung terhadap jejak karbon perusahaan dan menjadi tantangan dalam pencapaian target proper[11].

Salah satu potensi sumber energi alternatif yang belum dimanfaatkan sebelum inovasi adalah limbah biomassa dari area reklamasi pasca tambang. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. memiliki lahan reklamasi seluas ± 115 hektar yang ditanami pohon jati sebagai bagian dari program rehabilitasi lingkungan. Setiap tahun, pohon-pohon jati tersebut menghasilkan limbah biomassa berupa serasah daun dan ranting dari

kegiatan pemangkasan (*pruning*). Namun, sebelum adanya program inovasi, serasah tersebut hanya dibiarkan menumpuk di lahan reklamasi tanpa pemanfaatan lebih lanjut. Dalam beberapa kasus, dilakukan pembakaran terbuka untuk mengurangi volume timbunan, yang justru menimbulkan risiko lingkungan seperti polusi udara dan potensi kebakaran lahan[5].

Praktik tersebut menunjukkan bahwa sistem operasional sebelumnya belum mengintegrasikan pendekatan berkelanjutan, melainkan hanya berfokus pada penghilangan limbah tanpa pemanfaatan. Dengan demikian, sistem lama dapat dikategorikan sebagai *end of pipe solution* yang tidak sejalan dengan prinsip *circular economy*, dimana limbah seharusnya dipandang sebagai sumber daya potensial.

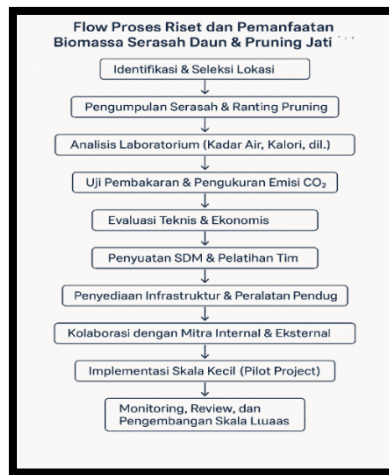


Gambar 2. Skema limbah ranting *pruning* jati dan serasah daun sebelum adanya pemanfaatan

Kondisi ini menimbulkan sejumlah permasalahan yang berdampak langsung terhadap sistem operasional dan kinerja lingkungan perusahaan. Pertama, tidak terdapat nilai tambah ekonomi karena serasah diperlakukan sebagai limbah tanpa pemanfaatan. Padahal, biomassa memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan sebagian konsumsi batu bara. Kedua, tidak ada kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon, karena pembakaran terbuka justru menghasilkan emisi GRK dan partikel halus yang mencemari udara. Ketiga, praktik pembakaran terbuka meningkatkan risiko kebakaran lahan dan polusi lokal, yang bertentangan dengan prinsip pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Keempat, belum pernah dilakukan penerapan teknologi tepat guna seperti pencacah, pengering, atau pembentuk briket dari biomassa jati di lingkungan industri semen. Terakhir, ketergantungan terhadap energi fosil masih dominan, sementara penggunaan biomassa selama ini terbatas pada jenis yang lebih umum seperti sekam padi dan serbuk kayu, yang memiliki karakteristik berbeda dengan limbah jati. Ketergantungan terhadap energi fosil masih dominan, dan penggunaan biomassa terbatas pada jenis yang lebih umum seperti sekam padi dan serbuk kayu, yang memiliki karakteristik berbeda dengan limbah jati[12].

Setelah program inovasi dijalankan, terjadi perubahan signifikan dalam sistem operasional. Tim teknis melakukan modifikasi pada sistem feeding kiln agar kompatibel dengan biomassa kayu jati dalam bentuk cacahan berukuran kurang dari 2 cm. Proses pengumpulan biomassa dilakukan secara lokal dari area reklamasi, kemudian dikeringkan secara alami dan dicacah menggunakan mesin berkapasitas 2 ton per jam. Biomassa yang dihasilkan digunakan sebagai substitusi parsial batu bara dalam proses pembakaran kiln dengan persentase bertahap.

Perubahan sistem ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berbasis riset dan evaluasi menyeluruh. Tahapan implementasi inovasi mengikuti alur sistematis yang dimulai dari identifikasi lokasi reklamasi, pengumpulan serasah dan ranting *pruning*, analisis laboratorium terhadap kadar air dan nilai kalor, hingga uji pembakaran dan pengukuran emisi CO₂. Selanjutnya dilakukan evaluasi teknis dan ekonomis, pelatihan SDM, penyediaan infrastruktur, serta kolaborasi dengan mitra internal dan eksternal. Implementasi skala kecil dilakukan sebagai pilot project, yang kemudian dilanjutkan dengan monitoring dan pengembangan skala luas. Alur ini menunjukkan bahwa sistem operasional pasca inovasi telah bertransformasi menjadi pendekatan berbasis *circular economy*, teknologi tepat guna, dan efisiensi energi.

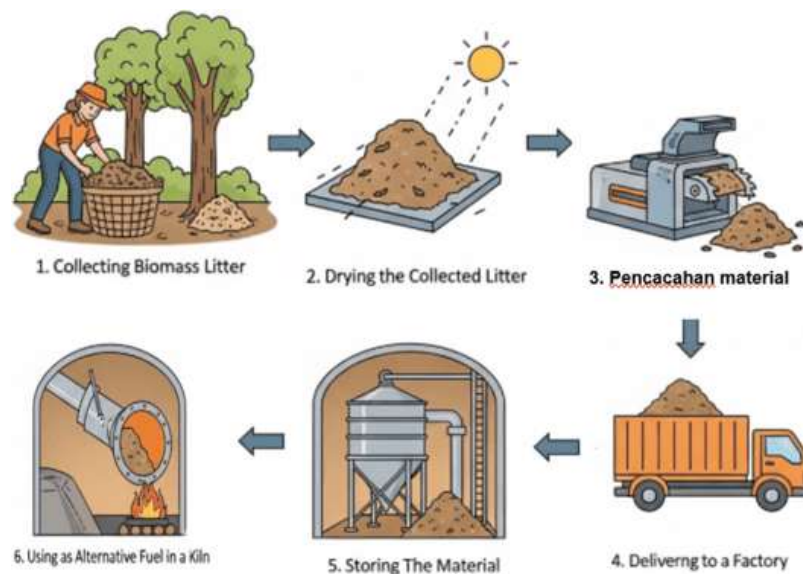


Gambar 3. Diagram alur riset dan pemanfaatan ranting *pruning* dan serasah daun



Gambar 4. Pelatihan pengembangan SDM

Pemanfaatan biomassa menunjukkan hasil yang positif. Suhu kiln tetap stabil dalam rentang optimal, laju pembakaran tidak mengalami gangguan berarti, dan kualitas klinker tetap memenuhi standar internal perusahaan. Konsumsi batu bara mengalami penurunan yang terukur, menunjukkan bahwa biomassa mampu memberikan kontribusi energi yang signifikan dalam proses produksi. Sistem operasional menjadi lebih fleksibel karena mampu mengakomodasi bahan bakar alternatif yang bersumber dari limbah lokal. Hal ini mendukung prinsip circular economy dan pengelolaan sumber daya berkelanjutan[13].



Gambar 5. Skema limbah ranting *pruning* jati dan serasah daun setelah adanya pemanfaatan

Untuk mendukung keberhasilan program inovasi, perusahaan melakukan investasi dalam pembangunan fasilitas pendukung yang mencakup tempat pengumpulan, pengeringan, pencacahan, pengujian kualitas, serta pengemasan biomassa daun dan ranting jati. Fasilitas ini dirancang agar biomassa yang dihasilkan memenuhi standar kualitas bahan bakar alternatif yang dipersyaratkan dalam proses

pembakaran kiln. Tim teknis mengembangkan mesin pencacah khusus dengan kapasitas desain 2 ton per jam, menggunakan motor penggerak 20 HP, yang mampu mencacah daun dan ranting jati secara efisien dan handal. Mesin ini dirancang dengan konsumsi daya listrik rendah, sehingga mendukung efisiensi energi secara keseluruhan. Hasil pencacahan berupa cacahan daun dan kayu kering berukuran kurang dari 2 cm, yang telah diuji secara laboratorium menggunakan metode ASTM D 5865-13 untuk parameter biomassa.



Gambar 6. Mesin pencacah kapasitas 2 ton/jam



Gambar 7. Fasilitas penyimpanan dan pencacahan ranting dan serasah daun

Berdasarkan hasil analisis, biomassa jati memiliki nilai kalor sebesar 2.581 kal/gram. Sebagai perbandingan, batu bara kategori II memiliki nilai kalor sekitar 4.500 kal/gram. Dengan demikian, pembakaran 1 ton biomassa setara dengan 0,63 ton batu bara dalam hal kontribusi energi. Data ini menunjukkan bahwa biomassa jati memiliki potensi energi yang cukup tinggi dan layak digunakan sebagai substitusi parsial dalam sistem pembakaran kiln.

Secara keseluruhan, pemanfaatan biomassa limbah kayu jati dari area reklamasi pasca tambang memberikan pengaruh positif terhadap sistem operasional kiln, baik dari aspek teknis, efisiensi energi, maupun kesiapan sistem untuk mendukung transisi menuju industri rendah karbon. Perubahan ini menjadi bukti bahwa pendekatan berbasis sumber daya lokal dan teknologi sederhana dapat diimplementasikan secara efektif dalam skala industri, sekaligus memperkuat kinerja lingkungan perusahaan dalam pengelolaan lingkungan[14].

Dampak Lingkungan dan Efisiensi Biaya

Implementasi program pemanfaatan biomassa dari serasah daun dan ranting pohon jati memberikan dampak nyata terhadap aspek lingkungan dan efisiensi biaya operasional di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Sebelum inovasi dijalankan, serasah biomassa yang dihasilkan dari area reklamasi pasca tambang seluas ± 115 hektar hanya dibiarkan menumpuk atau dibakar secara terbuka. Praktik ini tidak hanya menghilangkan potensi energi terbarukan, tetapi juga menimbulkan risiko lingkungan berupa polusi udara, peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), dan potensi kebakaran lahan.

Dengan diterapkannya inovasi, serasah yang sebelumnya dianggap limbah kini diolah menjadi bahan bakar alternatif. Proses pengumpulan, pengeringan, pencacahan, dan pengemasan dilakukan secara sistematis, menghasilkan biomassa berukuran kurang dari 2 cm dengan nilai kalor sebesar 2.581 kal/gram. Berdasarkan perhitungan energi, pembakaran 1 ton biomassa setara dengan 0,63 ton batu bara kategori II (4.500 kal/gram).

Hasil absolut energi yang dihasilkan dari inovasi pemanfaatan biomassa jati pada tahun 2024 dihitung melalui perbandingan antara konsumsi energi dari cacahan biomassa dan konsumsi energi dari batu bara. Berdasarkan data aktual, konsumsi cacahan biomassa jati sebesar 9 ton dengan nilai kalor 3.040

kcal/kg menghasilkan total energi panas sebesar 27.360.000 kcal. Sementara itu, konsumsi batu bara sebesar 34 ton dengan nilai kalor 2.662 kcal/kg menghasilkan total energi sebesar 90.508.000 kcal. Dengan menggunakan faktor konversi energi masing-masing diperoleh nilai absolut total energi dari inovasi sebesar 1008 GJ. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun volume biomassa lebih kecil, efisiensi kalor dan konversi energi dari biomassa jati cukup tinggi dan mampu menggantikan sebagian kebutuhan energi batu bara dalam proses pembakaran kiln. Perhitungan ini memperkuat bahwa pendekatan berbasis biomassa lokal tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap efisiensi energi dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Berdasarkan perhitungan teknis, total konsumsi biomassa jati sebesar 43 ton menghasilkan energi panas sebesar 110.983.000 kcal, yang ekuivalen dengan ± 1008 GJ. Jika dibandingkan dengan nilai kalor batu bara sebesar 3.276 kcal/kg dan harga batu bara tahun 2024 sebesar Rp 912.942/ton, maka substitusi energi ini menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 32.800.913. Perhitungan ini menggunakan rumus konversi energi dan nilai kalor biomassa terhadap batu bara, dengan mempertimbangkan efisiensi termal dan harga aktual bahan bakar.

Penghematan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa lokal tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga memberikan efisiensi biaya yang terukur. Selain itu, penggunaan sumber daya internal perusahaan turut menekan biaya transportasi dan logistik, serta membuka peluang ekonomi baru melalui pengelolaan limbah reklamasi menjadi energi terbarukan.

Nilai Tambah Program Inovasi

Program inovasi pemanfaatan biomassa dari serasah daun dan ranting jati di area reklamasi pasca tambang PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. memberikan nilai tambah yang bersifat multidimensi, mencakup aspek teknis, lingkungan, ekonomi, sosial, kelembagaan, serta perubahan struktur rantai nilai. Inovasi ini tidak hanya menyelesaikan persoalan limbah yang sebelumnya tidak terkelola, tetapi juga mengubahnya menjadi sumber daya strategis yang mendukung keberlanjutan operasional perusahaan.

Dari sisi teknis, nilai tambah utama terletak pada keberhasilan substitusi bahan bakar fosil dengan biomassa lokal yang memiliki nilai kalor cukup tinggi. Penggunaan cacahan biomassa jati berukuran 1008 GJ, menggantikan konsumsi kayu EC Batok dan batu bara. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi mampu memberikan kontribusi energi yang signifikan dalam proses pembakaran kiln.

Dari sisi ekonomi, program ini menghasilkan penghematan biaya operasional sebesar Rp 32.800.913 pada tahun 2024. Penggunaan sumber daya internal perusahaan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar eksternal, menekan biaya transportasi dan logistik, serta mempercepat periode pengembalian investasi. Nilai tambah ekonomi juga tercermin dalam potensi replikasi program di unit produksi lain, yang dapat memperluas dampak efisiensi biaya secara korporat.

Secara lingkungan, nilai tambah tercermin dalam pengurangan emisi karbon sebesar 96,728 ton CO₂ selama bulan Januari 2024 hingga Juni 2025, eliminasi praktik pembakaran terbuka, dan peningkatan kualitas udara lokal. Program ini mendukung pencapaian target pengelolaan lingkungan dan memperkuat reputasi perusahaan dalam pengelolaan lingkungan berbasis prinsip *circular economy*.

Nilai tambah lain yang penting dari program inovasi ini adalah terjadinya perubahan struktur rantai nilai energi alternatif, yang sebelumnya bersifat linear dan terbatas, kini menjadi sistem kolaboratif yang melibatkan berbagai pihak secara aktif. Sebelum inovasi, rantai nilai hanya terdiri dari produsen energi (kiln) dan supplier bahan bakar fosil (pemasok batu bara eksternal). Setelah inovasi diterapkan, rantai nilai berkembang menjadi lebih inklusif dan berbasis sumber daya lokal, melibatkan[15]:

- a. Produsen: PT Semen Indonesia sebagai pengolah biomassa menjadi energi alternatif.
Keuntungan: Meningkatkan efisiensi energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, memperkuat reputasi lingkungan, dan memperoleh penghematan biaya operasional sebesar Rp 32.800.913.
- b. Supplier: Masyarakat sekitar dan tim reklamasi sebagai penyedia bahan baku biomassa (daun dan ranting jati).
Keuntungan: Mendapat peluang ekonomi dari limbah yang sebelumnya tidak bernilai, terlibat dalam kegiatan pengumpulan dan pengelolaan biomassa, serta memperoleh pelatihan teknis dan pemberdayaan sosial.
- c. Konsumen: Unit kiln sebagai pengguna energi biomassa dalam proses pembakaran.
Keuntungan: Mendapat pasokan energi alternatif yang stabil dan terukur (1008 GJ), menurunkan risiko operasional akibat fluktuasi harga batu bara, serta mendukung transisi menuju sistem pembakaran rendah karbon.

Perubahan ini menciptakan hubungan baru yang lebih berkelanjutan dan berbasis sumber daya lokal, sekaligus membuka peluang ekonomi dan sosial bagi stakeholder eksternal. Inovasi ini juga menghasilkan keuntungan strategis berupa peningkatan efisiensi operasional, penguatan reputasi lingkungan, dan potensi replikasi lintas unit produksi.

Selain memberikan dampak teknis, ekonomi, dan sosial, program ini juga memiliki nilai tambah kelembagaan yang signifikan. Program “Pemanfaatan Ranting Pruning Jati dan Serasah Daun Area Reklamasi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban Sebagai Bahan Bakar Alternatif Berkelanjutan” dilaksanakan di unit Kiln Pabrik Tuban I, yang telah masuk dalam ruang lingkup kajian *Life Cycle Assessment (LCA)* produk semen tahun 2023. Dalam kerangka LCA, unit kiln termasuk dalam fase *Production*, sehingga pengurangan konsumsi energi panas sebesar 1008 GJ secara langsung berkontribusi terhadap penurunan *waste embedded value* dan peningkatan efisiensi lingkungan produk akhir. Integrasi program ini ke dalam sistem LCA menunjukkan bahwa inovasi biomassa jati tidak hanya bersifat operasional, tetapi juga strategis dalam mendukung roadmap keberlanjutan perusahaan.

Secara keseluruhan, program inovasi ini memberikan nilai tambah yang komprehensif dan berkelanjutan, menjadikannya sebagai model pengelolaan limbah reklamasi yang tidak hanya menyelesaikan masalah, tetapi juga menciptakan peluang baru bagi efisiensi energi, penghematan biaya, dan pemberdayaan stakeholder.

4. Kesimpulan

Program inovasi pemanfaatan ranting pruning jati dan serasah daun di area reklamasi PT Semen Indonesia Pabrik Tuban berhasil memberikan dampak nyata berupa pengurangan konsumsi energi panas sebesar 1008 GJ, penghematan anggaran operasional sebesar Rp 32.800.913, serta pengurangan emisi karbon 96,728 ton CO₂ pada periode inovasi. Inovasi ini juga mendorong perubahan rantai nilai, di mana produsen, supplier, dan konsumen energi alternatif terlibat aktif dalam sistem yang lebih berkelanjutan. Keuntungan dirasakan oleh perusahaan sebagai produsen energi, masyarakat sekitar sebagai penyedia bahan baku, dan unit kiln sebagai pengguna energi biomassa yang lebih efisien dan rendah karbon.

5. Referensi

- [1] International Energy Agency, “Cement Technology Roadmap: Pathways to Low-Carbon Cement,” *Paris IEA*, 2023.
- [2] D. Suharyanto and A. Prasetyo, “Analisis potensi biomassa sebagai sumber energi alternatif di Indonesia,” *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 11, no. 1, pp. 45–52, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.22146/jel.2020.11.1.45>.
- [3] P. R. Indonesia, “Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan,” 112, 2022.
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Panduan Penilaian Kinerja PROPER*. Jakarta: KLHK, 2021.
- [5] Arhamsyah, “Pemanfaatan biomassa kayu sebagai sumber energi terbarukan,” *Baristand Ind. Banjarbaru*, 2021, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/453076-none-96c7c2bc.pdf>.
- [6] Ellen, “Completing the picture: How the circular economy tackles climate change,” *Ellen Mac Arthur Found.*, 2021, [Online]. Available: <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>.
- [7] Mangalla, “Perbaikan kualitas energi biomassa kayu jati menggunakan torefaksi microwave,” *J. Tek. UNDIP*, vol. 44, no. 1, pp. 15–22, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/48278>.
- [8] Jumiati, “Pengujian biobriket dari limbah kayu sebagai sumber energi alternatif,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 123–130, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.12347>.
- [9] K. Sopian and M. Othman, “Biomass energy in Southeast Asia: Potentials and challenges,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 134, pp. 110–118, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110018>.
- [10] Hasanbeigi, “Emerging energy-efficiency and CO₂ emission-reduction technologies for cement and concrete production,” *J. Clean. Prod.*, vol. 231, pp. 887–902, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.330>.
- [11] R. Ginting and A. Wibowo, “Analisis efisiensi energi dan emisi CO₂ pada substitusi biomassa di kiln industri,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 21, no. 1, pp. 33–40, 2020.

-
- [12] D. A. Sari and B. Prasetyo, "Potensi biomassa sebagai energi alternatif di industri semen," *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 12, no. 2, pp. 45–52, 2021.
- [13] H. Susanto and M. Lestari, "Life cycle assessment pada industri semen: Studi kasus unit kiln," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 18, no. 3, pp. 112–120, 2022.
- [14] T. Nugroho and A. Ramadhani, "Pengaruh substitusi biomassa terhadap performa kiln dan emisi gas rumah kaca," *J. Tek. Ind. Hijau*, vol. 9, no. 1, pp. 21–29, 2021.
- [15] P. S. I. (Persero) T. P. Tuban, "Laporan Inovasi dan Efisiensi Energi Unit Tuban," Tuban, 2024.