

PENETAPAN STRATEGI EKONOMIS BIAYA TERMAL BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI INDUSTRI SEMEN

Bangkit Nadyo Priambodo*, Nurhadi Siswanto

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: bangkitnadyo@gmail.com*

Abstrak

Memodelkan thermal mixed biomassa melalui linear programming dengan mempertimbangkan ketidakpastian kualitas biomassa membantu pengambilan keputusan dalam aspek ekonomis untuk mendapatkan biaya bahan bakar yang terbaik. Metode melalui simulasi montecarlo dengan faktor ketidakpastian kualitas biomassa untuk mendapatkan batasan kualitas mixed biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan total biaya bahan bakar yang optimal dengan penggunaan ketidakpastian kualitas biomassa sebagai bahan bakar alternatif untuk dengan menggunakan linear programming. Model tersebut digunakan pada simulasi montecarlo untuk mencari batasan kualitas biomassa sebagai mixed biomassa. Hasil optimasi linear programming didapatkan indeks biaya bahan bakar pada STEC 780 kcal/kg clinker sebesar 203,645 Rp./ton clinker dengan potensi penghematan dibandingkan STEC 824 kcal/kg clinker pada musim hujan sebesar 5.5%. Pada musim panen yang dibandingkan dengan STEC 785 kcal/kg clinker memberikan potensi penghematan sebesar 1,7%. Hasil simulasi montecarlo didapatkan 39 skenario pada kondisi musim hujan dengan 3 batasan kualitas Total Moisture (TM) sekam dan cocopeat yang masih memberikan dampak penurunan indeks biaya bahan bakar 0,68%, peningkatan TSR (Thermal Subtitution Rate) sebesar 34% dan penurunan emisi CO₂ sebesar 1,1%. Pada musim panen didapatkan 26 skenario dengan 2 batasan kualitas TM biomassa yang masih memberikan dampak penurunan indeks biaya bahan bakar sebesar 1,22%, peningkatan TSR sebesar 42% dan penurunan emisi CO₂ sebesar 1,95%. Implikasi kepada perusahaan dengan menurunkan STEC ke 780 kcal/kg clinker dan menerapkan zonasi kualitas penyimpanan biomassa untuk menerapkan strategi thermal mixed biomassa.

Kata kunci : Termal, Linear Programming, Montecarlo, Thermal Mixed, Thermal Subtitution Rate, Total Moisture, Emisi CO₂

Abstract

Modeling thermal mixed biomass through linear programming by considering biomass quality uncertainty helps decision making in the economic aspect to get the best fuel cost. Method through montecarlo simulation with biomass quality uncertainty factor to get mixed biomass quality limit. This study aims to obtain the optimal total fuel cost by using biomass quality uncertainty as an alternative fuel using linear programming. The model is used in montecarlo simulation to find the limit of biomass quality as mixed biomass. The results of linear programming optimization obtained a fuel cost index at STEC 780 kcal/kg clinker of 203,645 Rp./ton clinker with potential savings compared to STEC 824 kcal/kg clinker in the rainy season of 5.5%. In the harvest season compared to STEC 785 kcal/kg clinker provides potential savings of 1.7%. Montecarlo simulation results obtained 39 scenarios in the rainy season conditions with 3 limits on the quality of Total Moisture (TM) chaff and

How to cite:	Priambodo, B. N., & Siswanto, S. (2024). Penetapan Strategi Ekonomis Biaya Termal Biomassa Sebagai Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen. <i>Syntax Literate</i> . (9)1. http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i1
E-ISSN:	2548-1398
Published by:	Ridwan Institute

cocopeat which still have an impact on reducing the fuel cost index by 0.68%, increasing TSR (Thermal Substitution Rate) by 34% and reducing CO2 emissions by 1.1%. In the harvest season, 26 scenarios were obtained with 2 TM biomass quality limits that still had an impact on reducing the fuel cost index by 1.22%, increasing TSR by 42% and reducing CO2 emissions by 1.95%. Implications for the company by lowering STEC to 780 kcal/kg clinker and implementing biomass storage quality zoning to implement a thermal mixed biomass strategy.

Keyword: Thermal, Linear Programming, Montecarlo, Mixed Alternative Fuel, Total Moisture, CO2 Emission

Pendahuluan

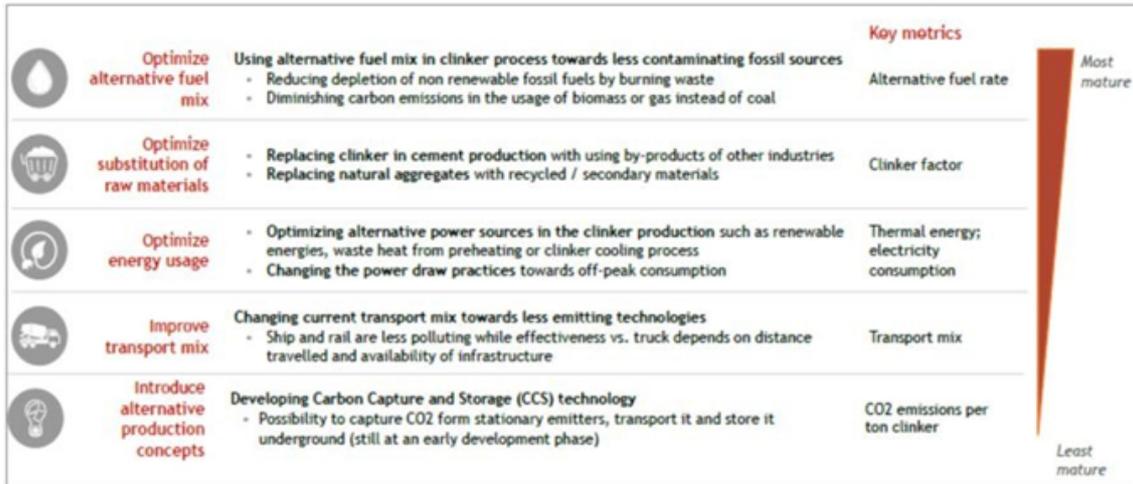
Manufaktur industri semen menyumbang sekitar 12 - 15% dari total penggunaan energi industri dan bertanggung jawab terhadap emisi global sekitar 7% CO2 (Ali et al, 2011). Persentase ini meningkat seiring permintaan semen yang meningkat jauh lebih cepat daripada pengurangan yang dicapai melalui proses inovasi. Sekitar 40% emisi CO2 disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan dalam proses manufaktur semen, 50% adalah dibuat ketika batu kapur dipanaskan dan didekarbonisasi untuk menghasilkan terak sedangkan listrik dan transportasi masing-masing menyumbang 5% (Summerbell et al., 2016)

Dengan penggunaan bahan bakar batubara & minyak bumi yang saat ini mengalami kenaikan harga yang sangat signifikan berdampak pada beban biaya operasional Perusahaan sehingga diperlukan langkah strategis peningkatan pemakaian bahan bakar alternatif untuk mensubstitusi bahan bakar Batubara (Liun & Sunardi, 2014). Hal tersebut mendukung komitmen pemerintah dalam mencapai target penurunan emisi maupun net zero emission yang ditargetkan akan tercapai pada Tahun 2060.

Isu mengenai Green House Gasses (GHG) dan emisi karbon (CO2) sebagai komitmen antar negara melalui Paris Agreement on Climate Change (2015) turut menyertai perubahan tren industri semen ke arah penggunaan teknologi dan bahan-bahan ramah lingkungan (Latuconsina, 2023). Pada RJPP (Rencana Jangka Panjang Perusahaan) salah satu perusahaan di industri semen menampilkan beberapa potensi dan peluang peningkatan operassional berbasis Eco-Friendly & Emission Cutting pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Rumah Strategis Perusahaan di Industri Semen



Gambar 2. Solusi Operasional berbasis Eco-Friendly & Emission Cutting

Penggunaan bahan bakar biomassa dianggap karbon netral, oleh karena itu secara signifikan dapat mengurangi emisi bahan bakar (Gao et al., 2015). Biomassa adalah istilah umum yang menggambarkan material dari tumbuhan dan hewan seperti kayu, tanaman, rumput laut, material sisa pertanian dan proses kehutanan, industri organik, manusia dan kotoran hewan (Saidur et al., 2011). Dengan suhu proses yang tinggi di kiln semen sangat cocok untuk pembakaran biomas maupun sampah (Ali et al., 2011)

Namun kualitas biomassa bervariasi dan densitas curah yang rendah serta nilai kalor yang relatif lebih rendah dari bahan bakar batubara, bahan bakar biomassa dibutuhkan dalam volume yang signifikan lebih banyak sehingga berdampak pada jumlah pergerakan truk yang jauh lebih besar (Allen et al, 1998). Selanjutnya, biomassa biasanya tersebar luas secara geografis, karena biasanya dipasok oleh perusahaan kecil atau menengah peternakan (Roni et al., 2014). Selain itu biomassa dari hasil pertanian seperti sekam padi, bonggol jagung, cocopeat, bagas tebu, akan melimpah pada musim panen. Akibatnya, biaya dan kompleksitas logistik operasi adalah hambatan signifikan yang membatasi peningkatan penggunaan biomassa.

Material biomassa yang digunakan oleh Perusahaan di industri semen adalah sekam padi dan cocopeat (Hasibuan, 2022). Pemakaian biomassa sekam padi dan cocopeat berperan penting sebagai bahan bakar alternatif yang berpotensi untuk mensubstitusi batubara. Dengan kenaikan harga batubara yang cukup signifikan serta dalam rangka program penurunan emisi maka penggunaan energi alternatif menjadi langkah strategis yang utama agar keberlanjutan Perusahaan tetap berlangsung di tengah krisis energi global.

Inisiatif strategis tersebut salah satunya meningkatkan Thermal Substitution Rate (TSR) dengan peningkatan volume pemakaian bahan bakar alternatif, khususnya material biomassa sekam padi dan cocopeat (Sharma et al., 2023). Biomassa saat ini yang memberikan kontribusi terbesar dalam pencapaian TSR sehingga perlu adanya pengelolaan supply chain biomassa untuk menjamin ketersediaan pasokan biomassa ke Pabrik.

Beban biaya bahan bakar produksi juga mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan harga batubara domestik. Dengan tidak ada kenaikan harga biomassa sangat membantu menekan pengeluaran anggaran dengan kenaikannya harga batubara. Akibat kenaikan harga batubara global mendorong banyak perusahaan yang berinovasi untuk menggunakan bahan bakar alternatif sebesar mungkin untuk menekan konsumsi batubara. Kondisi tersebut akan mengancam penurunan supply biomassa ke perusahaan industri semen karena kurang kompetitifnya harga dari pengadaan sehingga tidak cukup menarik supplier untuk memasok biomassa sekam padi maupun cocopeat.

Namun alternatif solusi menaikkan harga perolehan biomassa perlu pendekatan terhadap beberapa parameter yang mempengaruhi nilai ekonomis untuk mensubstitusi biaya termal batubara. Oleh sebab itu diperlukan rewiu ekonomis biomassa secara kualitatif dan kuantitatif sehingga didapatkan batasan biaya ekonomis yang ekuivalen dengan biaya batubara. Batasan parameter kualitas biomassa tersebut akan ditetapkan pada dokumen Service Level Agreement (SLA) sebagai acuan pertimbangan beberapa pihak untuk proses penerimaan biomassa. Setelah mendapatkan batasan biaya termal dari biomassa tersebut dapat menjadi referensi untuk menentukan skema pengadaan biomassa terhadap biaya termal bahan bakar produksi terak (Sari et al., 2023).

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut: 1) Bagaimana menentukan batasan parameter yang mempengaruhi biaya bahan bakar produksi terak dalam pemakaian biomassa (sekam padi dan cocopeat) sebagai bahan bakar alternatif yang digunakan oleh perusahaan industri semen – Pabrik Tuban? 2) Bagaimana permasalahan ketidakpastian kualitas biomassa dengan pada industri semen sebagai bahan bakar alternatif untuk meminimalkan biaya bahan bakar produksi terak? 3) Bagaimana menentukan skenario ketidakpastian kualitas biomassa terhadap biaya bahan bakar produksi terak, TSR (Thermal Substitution Rate) dan emisi CO₂?

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Mengidentifikasi variabel dan parameter (termasuk parameter untuk kategori ketidakpastian) yang mempengaruhi biaya bahan bakar produksi terak. 2) Mengetahui permasalahan ketidakpastian kualitas biomassa sebagai bahan bakar alternatif di industri semen untuk meminimalkan biaya bahan bakar produksi terak. 3) Menganalisis beberapa skenario untuk mendapatkan batasan ketidakpastian kualitas biomassa dengan thermal mixed biomassa yang masih memberikan dampak penurunan biaya bahan bakar produksi terak, TSR (Thermal Substitution Rate) dan penurunan emisi CO₂.

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Membantu perusahaan industri semen – Pabrik Tuban, khususnya bagi pengambil keputusan, memiliki referensi variabel dan parameter (termasuk kategori ketidakpastian) yang mempengaruhi biaya termal pemakaian bahan bakar agar memenuhi SLA. 2) Membantu perusahaan industri semen – Pabrik Tuban, khususnya pengambil keputusan memiliki gambaran mengenai permasalahan ketidakpastian kualitas biomassa sebagai bahan bakar alternatif untuk meminimalkan biaya termal pemakaian bahan bakar dengan mempertimbangkan ketidakpastian pasokan biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk

mendapatkan total biaya bahan bakar yang optimal dengan penggunaan ketidakpastian kualitas biomassa sebagai bahan bakar alternatif untuk dengan menggunakan linear programming.

Metode Penelitian

Desain penelitian ini adalah penelitian deskriptif, yang mana digunakan untuk mendeskripsikan secara sistematis dan akurat suatu situasi tertentu yang bersifat factual (Ramdhan, 2021). Dipilihnya penelitian deskriptif supaya temuan yang ada dapat diperinci secara lebih luas. Selain itu juga karena variabel yang ada akan diuraikan atas faktor – faktornya.

Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus, yang mana merupakan bagian dari metode kualitatif yang hendak mendalami suatu kasus tertentu secara lebih mendalam dengan melibatkan pengumpulan berbagai macam sumber informasi. Tahap ini berisi identifikasi masalah yang terjadi pada Perusahaan (Rosmalasari et al., 2020). Mengidentifikasi dilakukan dengan pengamatan langsung dan wawancara dengan pihak internal perusahaan.

Pada tahap ini akan dilakukan studi literatur dan lapangan. Untuk studi literatur dilakukan pencarian literatur baik melalui buku, jurnal maupun tugas yang telah dikerjakan mengenai stochastic techno economic, simulasi monte carlo, dan linear programming.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Termal

Pada tahapan ini dilakukan analisis termal dari hasil simulasi linear programming maupun metode monte carlo untuk mendapatkan profil total termal bahan bakar, termal batubara dan termal biomassa. Dalam kinerja di cement manufacture, substitusi termal batubara dengan termal bahan bakar alternatif disebut TSR (Thermal Substitution Rate). Hasil analisis termal tersebut digunakan untuk menghitung dampak CO₂ yang dihasilkan sehingga dapat dianalisis dampak CO₂ terhadap penurunan STEC.

Konversi termal bahan bakar batubara maupun biomassa yang dibutuhkan untuk memproduksi clinker ke CO₂ yang dihasilkan mengacu pada IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>). Berdasarkan IPCC, nilai faktor emisi CO₂ untuk batubara sebesar 96 kg CO₂/Giga Joule, untuk agricultural biomass (sekam & cocopeat) sebesar 110 kg CO₂/Giga Joule. Pada penelitian ini factor jumlah clinker yang dibutuhkan untuk produksi semen sebesar 67%.

Analisis Termal dan Emisi CO₂ berdasarkan STEC

Berdasarkan hasil optimasi linear programming dengan batasan STEC. Didapatkan indeks biaya bahan bakar akan menurun 1% jika dapat menurunkan STEC sebesar 8 kcal/kg clinker. Dengan menurunkan STEC yang mempengaruhi kebutuhan total termal menurun maka dengan termal biomassa yang sama akan menaikkan TSR.

Selain itu indeks emisi CO₂ per ton cement equivalent akan menurun sebesar 0,6 kg CO₂/ton cement equivalent setiap 1 kcal/kg clinker.

Analisis Termal dan Emisi CO₂ pada Musim Hujan

Analisis termal dan emisi CO₂ untuk musim hujan pada Tabel 4.23 berdasarkan hasil simulasi montecarlo pada musim hujan dengan kondisi STEC 780 kcal/kg clinker. Hasil indeks biaya untuk skenario 27 yaitu dengan kondisi TM cocopeat maksimal 35% dan TM sekam maksimal 32,5% masih memberikan potensi penghematan indeks biaya bahan bakar sebesar 53 Rp. /ton clinker dengan probabilitas 45,15%.

Pada skenario 33 dengan kondisi TM cocopeat maksimal 45% dan TM sekam maksimal 27,5% masih memberikan potensi penghematan 206 Rp. /ton clinker dengan probabilitas 12,90%. Pada skenario 46 dengan kondisi TM cocopeat maksimal 65% dan TM sekam maksimal 22,5% masih memberikan potensi penghematan sebesar 133 Rp /ton clinker dengan probabilitas sebesar 24,42%. Batasan ketiga skenario tersebut juga memberikan potensi kenaikan TSR dibandingkan baseline yang berdampak pada penurunan indeks emisi CO₂ per ton cement equivalent.

Analisis Termal dan Emisi CO₂ pada Musim Panen

Berdasarkan hasil simulasi montecarlo pada musim hujan dengan kondisi STEC 780 kcal/kg clinker. Hasil indeks biaya untuk skenario 25 yaitu dengan kondisi TM cocopeat maksimal 35% dan TM sekam maksimal 22,5% masih memberikan potensi penghematan indeks biaya bahan bakar sebesar 118 Rp /ton clinker dengan probabilitas 38,62%. Pada skenario 31 dengan kondisi TM cocopeat maksimal 45% dan TM sekam maksimal 17,5% masih memberikan potensi penghematan 416 Rp /ton clinker dengan probabilitas 10,62%.

Pada skenario 45 dengan kondisi TM cocopeat maksimal 65% dan TM sekam maksimal 17,5% masih memberikan potensi penghematan sebesar 71 Rp /ton clinker dengan probabilitas sebesar 20,82%. Batasan ketiga skenario tersebut juga memberikan potensi kenaikan TSR dibandingkan baseline yang berdampak pada penurunan indeks emisi CO₂ per ton cement equivalent.

Pada kondisi realisasi di Perusahaan saat ini setiap jenis bahan bakar alternatif diberikan batasan spesifikasi kualitas khususnya nilai kalori dan TM. Best practice nya batasan nilai kalori > 2000 kcal/kg sebagai bahan bakar alternatif (Mangallo & Hasan, 2012). Hal tersebut berdampak pada material biomassa cocopeat yang tidak digunakan atau tidak diterima karena TM cocopeat melebihi dari 35%. Pada penelitian ini mempertimbangkan skenario pencampuran biomassa sekam dan cocopeat dengan skenario batasan TM dari kedua jenis biomassa tersebut.

Dari optimasi linear programming didapatkan indeks biaya bahan bakar pada STEC 780 kcal/kg clinker sebesar 203.645 Rp /ton clinker dengan potensi penghematan indeks biaya bahan bakar terhadap STEC dari 824 kcal/kg clinker sebesar 5,55% setara 11.750 Rp /ton clinker. Potensi penghematan indeks biaya bahan bakar terhadap STEC 785 kcal/kg clinker sebesar 1,7% setara 1.335 Rp /ton clinker (Priambodo, 2023).

Sedangkan kombinasi linear programming dengan simulasi montecarlo berdasarkan probabilitas kualitas TM biomassasekam dan cocopeat didapatkan peningkatan TSR pada musim hujan 34% dan pada musim panen 42% dengan masih memberikan potensial penghematan biaya bahan bakar pada musim hujan sebesar 0,68% dan pada musim panen sebesar 1,2%. Untuk penurunan emisi CO₂ pada musim hujan sebesar 1,11% dan pada musim panen sebesar 1,95%.

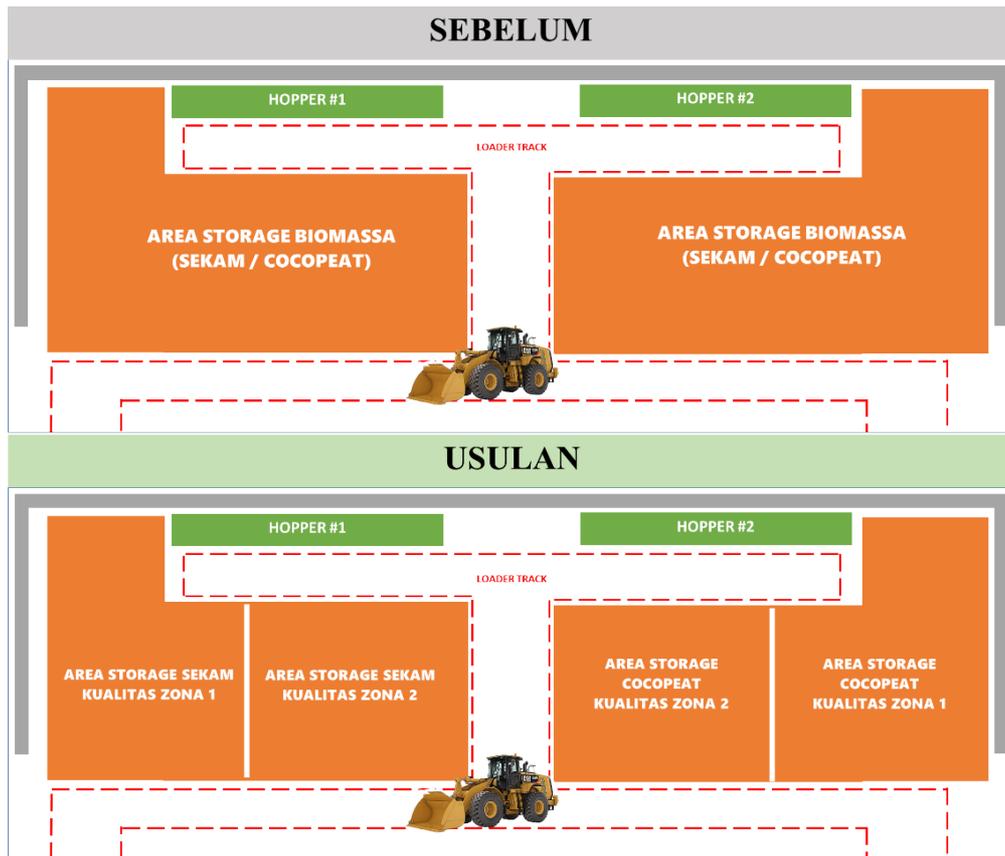
Hasil simulasi indeks pemakaian batubara dan indeks biaya bahan bakar pada musim hujan dengan STEC 780 kcal/kg clinker dibandingkan STEC 824 kcal/kg clinker didapatkan 39 skenario dengan probabilitas 82,47%. Dari 39 skenario tersebut memiliki 3 profil batasan TM (Total Moisture) sekam dan cocopeat sebagai berikut

- a. Skenario 46 dengan kondisi jika TM cocopeat maksimal 65% maka TM sekam maksimal 22,5% dengan probabilitas sebesar 24,42%.
- b. Skenario 33 dengan kondisi jika TM cocopeat maksimal 45% maka TM sekam maksimal 27,5% dengan probabilitas sebesar 12,9%.
- c. Skenario 27 dengan kondisi jika TM cocopeat maksimal 35% maka TM sekam maksimal 32,5% dengan probabilitas sebesar 45,15%.

Hasil simulasi indeks pemakaian batubara dan indeks biaya bahan bakar pada musim panen dengan STEC 780 kcal/kg clinker dibandingkan STEC 785 kcal/kg clinker didapatkan 26 skenario dengan probabilitas 82,47%. 26 skenario tersebut memiliki 2 profil batasan TM (Total Moisture) sekam dan cocopeat sebagai berikut

- a. Skenario 45 dengan kondisi jika TM cocopeat maksimal 65% maka TM sekam maksimal 17,5% dengan probabilitas sebesar 31,08%.
- b. Skenario 25 dengan kondisi jika TM cocopeat maksimal 35% maka TM sekam maksimal 22,5% dengan probabilitas sebesar 38,62%.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut pada musim panen dan musim hujan diperlukan zonasi penyimpanan biomassa untuk implementasi strategi thermal mixed biomassa yang berbeda dengan kondisi sebelumnya tanpa manajemen zonasi kualitas biomassa di storage biomassa. Dari 3 batasan kualitas biomassa (sekam dan cocopeat) pada musim hujan serta 2 batasan kualitas biomassa (sekam dan cocopeat) pada musim panen dapat dijadikan 2 zonasi kualitas penyimpanan sekam dan 2 zonasi kualitas penyimpanan cocopeat seperti pada gambar 4.21 (Apriliani, 2021). Untuk 2 zonasi kualitas penyimpanan sekam pada batasan TM zona 1 $\leq 22,5\%$ dan TM $22,5\% < TM$ zona 2 $\leq 32,5\%$. Sedangkan zonasi kualitas penyimpanan cocopeat dibagi menjadi 2 zona yaitu TM zona 1 $\leq 35\%$ dan $35\% < TM$ zona 2 $\leq 65\%$.



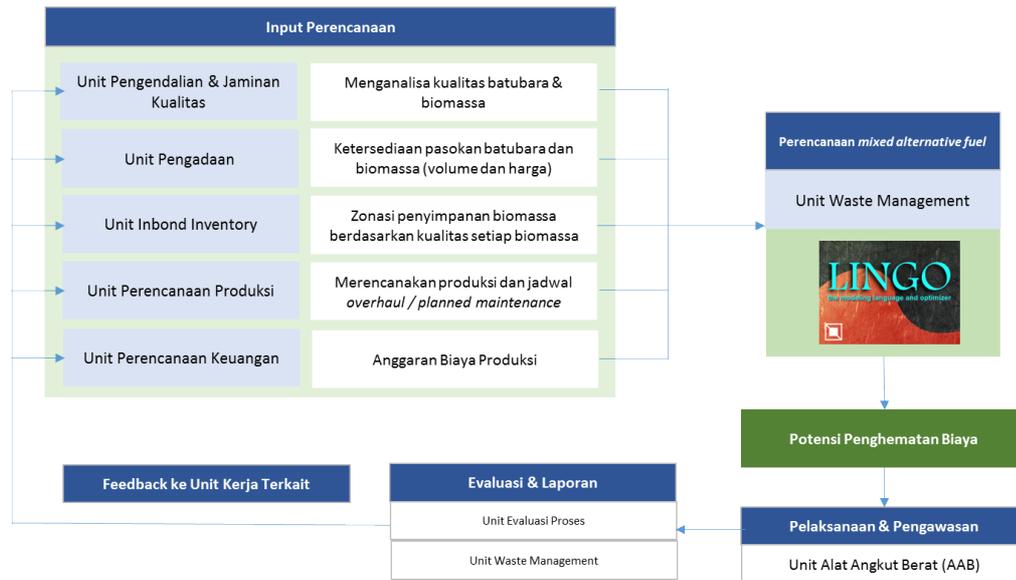
Gambar 3. Usulan Zonasi Kualitas Penyimpanan Biomassa

Dengan menggunakan simulasi monte carlo didapatkan SLA (Service Level Agreement) baru yang sebelumnya ada batasan kualitas penerimaan pada sekam dari TM maksimal 20% menjadi maksimal 22,5% pada musim panen dan maksimal 32,5% pada musim hujan. Sedangkan batasan kualitas penerimaan pada biomassa cocopeat dari TM maksimal 35% menjadi 65% pada musim hujan dan musim panen.

Dengan SLA baru tersebut dapat meningkatkan probabilitas pasokan biomassa dari 38,6% menjadi 69,7% pada musim panen. Sedangkan pada musim hujan probabilitas pasokan biomassa dari 40,46% menjadi 82,47%.

Berdasarkan implikasi praktis bagi perusahaan maka diperlukan kerangka kerja perencanaan, pengawasan dan pengendalian yang melibatkan beberapa unit kerja agar penghematan biaya bahan bakar dapat tercapai. Usulan kerangka kerja perencanaan, pengawasan dan pengendalian penghematan biaya bahan bakar ditampilkan pada Gambar 4.

Penetapan Strategi Ekonomis Biaya Termal Biomassa Sebagai Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen



Gambar 4. Usulan Kerangka Kerja Perencanaan, Pengawasan dan Pengendalian Biaya Bahan Bakar

Pada tahap input perencanaan dilakukan pengumpulan data terkait parameter input. Data tersebut diperoleh dari beberapa unit kerja yang terkait. Pada Unit Pengadaan memberikan data terkait kemampuan pasokan batubara dan biomassa yang meliputi volume dan harga. Pada model ini diasumsikan pasokan biomassa dibatasi oleh maksimal kapasitas storage dan kapasitas feeder biomassa walaupun hasil dari penelitian ini volume pasokan biomassa masih belum memenuhi batasan maksimal tersebut.

Pada Unit Pengendalian dan Jaminan Kualitas menyediakan hasil uji analisa kualitas batubara dan biomassa. Data tersebut dibutuhkan untuk menentukan volume dan kualitas mixed biomassa dan batubara. Pada unit perencanaan produksi menyediakan data rencana volume produksi terak dalam setahun. Perencanaan produksi tersebut sudah direncanakan secara bulanan termasuk rencana overhaul / planned maintenance.

Pada Unit Inbond Inventory menyediakan alokasi tempat untuk zonasi penyimpanan biomassa berdasarkan kualitas. Penentuan zonasi tersebut diimplementasikan setelah mendapatkan feedback rencana skenario batasan kualitas setiap biomassa untuk mixed alternative fuel. Pada unit perencanaan keuangan memberikan input batasan anggaran yang diperbolehkan untuk melangsungkan kegiatan operasional Perusahaan. Unit Perencanaan Keuangan juga berperan memastikan realisasi penghematan biaya bahan bakar tersebut.

Pada Unit Waste Management berperan dalam melakukan optimasi sekaligus menentukan skenario mixed alternative fuel untuk mendapatkan biaya bahan bakar yang optimal. Hasil dari unit waste management memberikan rekomendasi batasan kualitas biomassa yang diterima oleh pengadaan berdasarkan skenario mixed alternative fuel Serta potensi penghematan biaya bahan bakar.

Pada Unit Alat Angkut Berat (AAB) berperan memasukan rasio mixed alternative fuel ke dalam hopper feeder yang didapatkan rekomendasi dari unit waste management. Selain itu mengawasi kesesuaian rasio volume biomassa yang dimasukkan ke hopper

feeder untuk mendapatkan rate biomassa per jam nya. Pada tahapan evaluasi dan laporan dilakukan kolaborasi oleh unit evaluasi proses dan unit waste management. Unit evaluasi proses berperan mengevaluasi dampak secara proses khususnya energi termal dan emisi CO₂. Unit Evaluasi Proses berkolaborasi dengan unit waste management untuk memberikan laporan rekomendasi atas hasil implementasi optimasi kepada unit kerja terkait. Hasil laporan tersebut menjadi dasar update parameter oleh unit kerja terkait sebagai input perencanaan.

Kesimpulan

Permodelan untuk menyelesaikan permasalahan bahan bakar alternatif yang mempengaruhi biaya bahan bakar dengan variabel kuantitas pemakaian biomassa dan kuantitas pemakaian batubara. Parameter yang mempengaruhi adalah STEC, clinker production, kapasitas feeder biomassa, harga batubara, harga biomassa, nilai termal batubara, dan nilai termal biomassa yang dipengaruhi oleh kualitas total moisture biomassa.

Berdasarkan optimasi dari model Linear Programming sebagai berikut; a) Dengan menurunkan STEC (Specific Thermal Energy Consumption) dapat menurunkan biaya bahan bakar. Hasil linear programming didapatkan indeks biaya bahan bakar yang optimal pada Batasan STEC 780 kcal/kg clinker. b) Pada STEC 780 kcal/kg clinker didapatkan indeks biaya bahan bakar sebesar 203.645 Rp./ton clinker dengan indeks pemakaian batubara sebesar 0,1995 ton/ton clinker. c) Potensi penghematan kondisi STEC 785 kcal/kg clinker terhadap STEC 780 kcal/kg clinker dengan penurunan indeks biaya bahan bakar sebesar 1.335 Rp./ton clinker, penurunan indeks pemakaian batubara sebesar 0,0013 ton/ton clinker, penurunan emisi CO₂ sebesar 3 kg CO₂/ton cement equivalent.

Berdasarkan Monte Carlo dengan mempertimbangkan ketidakpastian kualitas biomassa sekam dan cocopeat dengan 49 skenario pada musim hujan dan musim panen yang dibandingkan pada baseline biaya bahan bakar sebagai berikut, Hasil simulasi indeks pemakaian batubara dan indeks biaya bahan bakar pada musim hujan dengan STEC 780 kcal/kg clinker dibandingkan STEC 824 kcal/kg clinker didapatkan 39 skenario dengan probabilitas 82,47%.

BIBLIOGRAFI

- Ali, M. B., Saidur, R., & Hossain, M. S. (2011). A review on emission analysis in cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2252–2261.
- Apriliani, R. P. (2021). *Pengaruh konsentrasi nutrisi AB mix dan POC cangkang telur ayam broiler serta jenis media tanam terhadap produksi sawi caisim (Brassica juncea L. Czern. Var. Tosakan) hidroponik*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Gao, T., Shen, L., Shen, M., Chen, F., Liu, L., & Gao, L. (2015). Analysis on differences of carbon dioxide emission from cement production and their major determinants.

- Journal of Cleaner Production*, 103, 160–170.
- Hasibuan, S. A. F. (2022). *Pengaruh Pengolahan Tanah dan Pemberian Mulsa Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Hasil Produksi Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharata Sturt L.)*. Universitas Medan Area.
- Latuconsina, H. (2023). Improving Student Knowledge and Understanding of the Greenhouse Gases Effects and Global Climate Change and Their Adaptation and Mitigation Efforts. *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan*, 16(1), 275–285.
- Liun, E., & Sunardi, S. (2014). Perbandingan Harga Energi dari Sumber Energi Baru Terbarukan dan Fosil. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 16(2), 119–130.
- Mangallo, D., & Hasan, D. (2012). *Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar*. SINERGI.
- Priambodo, B. N. (2023). *Penetapan Strategi Ekonomis Biaya Termal Biomassa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Industri Semen*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramadhan, M. (2021). *Metode penelitian*. Cipta Media Nusantara.
- Roni, M. S., Eksioglu, S. D., Searcy, E., & Jacobson, J. J. (2014). Estimating the variable cost for high-volume and long-haul transportation of densified biomass and biofuel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 29, 40–55.
- Rosmalasari, T. D., Lestari, M. A., Dewantoro, F., & Russel, E. (2020). Pengembangan E-Marketing Sebagai Sistem Informasi Layanan Pelanggan Pada Mega Florist Bandar Lampung. *Journal of Social Sciences and Technology for Community Service (JSSTCS)*, 1(1), 27–32.
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2262–2289.
- Sari, E. P., Hasugian, H., & Harahap, M. I. (2023). Implikasi Kebijakan Ekspor Kelapa Sawit Terhadap Perekonomian Indonesia dalam Perspektif Ekonomi Islam. *Brilliant: Journal of Islamic Economics and Finance*, 1(2), 212–237.
- Sharma, P., Sheth, P. N., & Mohapatra, B. N. (2023). Co-processing of petcoke and producer gas obtained from RDF gasification in a white cement plant: A techno-economic analysis. *Energy*, 265, 126248.
- Summerbell, D. L., Barlow, C. Y., & Cullen, J. M. (2016). Potential reduction of carbon emissions by performance improvement: A cement industry case study. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1327–1339.

Copyright holder:

Bangkit Nadyo Priambodo, Nurhadi Siswanto (2023)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

