

## **Analisa Teknik dan Keekonomian Pengolahan Biomassa Sawdust dari Hutan Tanaman Energi (HTE) untuk Mendukung Program Co-Firing di PLTU Pelabuhan Ratu**

**Danu Mujiono<sup>1\*</sup>, Zico Alaia Akbar<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Elektro, Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Intitut Teknologi PLN, 11750, Indonesia

\*Corresponding author, e-mail: danumujiono399@gmail.com

Received 2<sup>nd</sup> May 2023; 1<sup>st</sup> Revision 10<sup>th</sup> May 2023; Accepted 19<sup>th</sup> June 2023

### **ABSTRAK**

*Didalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021 – 2030, terdapat program co-firing biomassa dengan batubara pada PLTU. Program ini merupakan salah satu program terobosan PLN dalam meningkatkan bauran energy baru terbarukan yang dilakukan tanpa memerlukan biaya investasi yang signifikan, dimana bauran energi dari program co-firing PLTU batubara dengan mensubstitusi sebagian batubara dengan biomassa seperti sawdust dari Hutan Tanaman Energi (HTE). Implementasi co-firing PLTU secara komersil didasari uji coba co-firing yang menunjukkan hasil layak secara teknis dan tidak mengganggu keandalan operasional pembangkit. Jumlah PLTU PLN yang berpotensi untuk dilakukan co-firing ada 52 PLTU dengan kebutuhan biomassa sebesar 10 juta ton/tahun di tahun 2025. PLTU yang masuk dalam program co-firing salah satunya adalah PLTU Pelabuhan Ratu dengan kapasitas 3 x 350 MW yang terletak di Sukabumi. Tahapan penelitian ini yaitu memetakan potensi biomassa sawdust untuk mengetahui ketersediaan potensi biomassa di sekitar lokasi PLTU Co-firing, menganalisa sisi teknis dan spesifikasi yang terdapat di bahan baku biomassa sawdust untuk mengetahui kecocokan atau kelayakan dengan spesifikasi PLTU Pelabuhan Ratu dan menganalisa kelayakan keekonomian pengembangan teknologi pengolahan biomassa sawdust untuk mengetahui biaya pokok produksi biomassa sawdust sehingga nantinya tidak berdampak secara teknis dan finansial khususnya pada kenaikan biaya pokok penyediaan pembangkit. Analisa kelayakan ekonomi untuk pengolahan sawdust dari hutan tanaman energi untuk dapat menentukan biaya produksi yang nantinya tidak berdampak dari sisi keuangan. Dimana dari analisa ekonomi dari produksi pengolahan sawdust dari hutan tanaman energi layak dengan nilai NPV > Rp 7.535.900.979; IRR 11,1 % dan Payback Periode 7,8 tahun.*

**Kata Kunci:** Bauran EBT; Cofiring; Sawdust HTE; Keekonomian.

### **ABSTRACT**

*In the PT PLN (Persero) Electricity Supply Business Plan (RUPTL) 2021–2030, there is a program of co-firing biomass with coal at the PLTU. This program is one of PLN's breakthrough programs in increasing the new renewable energy mix, which is carried out without requiring significant investment costs. The energy mix is from the coal-fired PLTU co-firing program by substituting some of the coal with biomass such as sawdust from Energy Plantation Forests (HTE). The commercial implementation of PLTU co-firing is based on co-firing trials that show results that are technically feasible and do not interfere with the plant's operational reliability. The number of PLN PLTUs that have the potential to be co-fired is 52 PLTUs, with a biomass requirement of 10 million metric tons per year in*

2025. One of the PLTUs included in the co-firing program is the Pelabuhan Ratu PLTU, with a capacity of 3 x 350 MW, located in Sukabumi. The stages of this research are mapping the sawdust biomass potential to determine the availability of biomass potential around the Co-firing PLTU location, analyzing the technical side and specifications contained in the sawdust biomass feedstock to determine suitability or feasibility with the Pelabuhan Ratu PLTU specifications, and analyzing the economic feasibility of processing technology development for sawdust biomass to find out the basic cost of sawdust biomass production so that later it will not have a technical and financial impact, especially on the increase in the basic cost of providing generators. Economic feasibility analysis for sawdust processing from energy plantation forests to be able to determine production costs that will not have a financial impact. From the economic analysis, the production of sawdust processing from energy plantation forests is feasible with an NPV value of > IDR 7,535,900,979, an IRR of 11.1%, and a payback period of 7.8 years.

**Keywords:** clay ; soil stabilization; microorganism; wet-dry cycle; bacteria.

Copyright © Danu Mujiono, Zico Alaia Akbar

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## PENDAHULUAN

Energi baru dan terbarukan (EBT) berperan penting dalam meningkatkan ketahanan energi dan dekarbonisasi ekonomi global. Untuk mendukung hal tersebut, Pemerintah telah menetapkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang dituangkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2014. Dalam PP No. 79 Tahun 2014 disebutkan bahwa bauran EBT pada tahun 2025 ditargetkan mencapai 23% dan pada tahun 2050 ditargetkan mencapai 31% [1]. Dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2021-2030 bahwa program cofiring merupakan salah satu program untuk meningkatkan bauran energi baru terbarukan yang tidak memerlukan biaya investasi yang signifikan. Dimana program cofiring ini akan dilakukan pada PLTU yang dimiliki PLN dengan total kapasitas 18.895 MW yang membutuhkan biomassa 10,2 juta ton sampai dengan tahun 2025. Yang didukung dengan adanya pasokan biomassa yang sustainability [2].

Tahun 2021, bahwa 87,84% penggunaan energi dari bahan bakar fosil (37,62% dari batubara, 16,82% dari gas, 33,40% dari minyak), selain itu 12,16% dari energi baru terbarukan (4,41%) Bahan Bakar Nabati, 3,09% dari PLTA, 0,05% dari PLTS, 0,07% dari PLTB, 0,01% dari PLTBg dan 2,52% dari EBT lainnya) [5]. Bisa dikatakan sebagaimana pembangkit listrik di Indonesia didominasi oleh bahan bakar batubara. Dimana dalam jangka panjang ketersediaan batu bara akan semakin sedikit sehingga dibutuhkan terobosan untuk mengatasinya ketersediaan bahan bakar untuk pembangkit listrik yaitu dengan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Pendekatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan bauran energi EBT yaitu dengan menggunakan bahan bakar biomassa yaitu dengan mencampurkan sebagian batu bara dengan biomassa dimana metode ini sering disebut dengan co-firing. Ketersediaan bahan bakar biomassa di Indonesia sangat besar. Dalam Dengan adanya kegiatan co-firing ini diperlukan adanya analisa karakteristik pengujian biomassa agar tidak menurunkan performance pembangkit. Rencana pembangkit listrik yang ada di Indonesia saat ini menyarankan penggunaan metode direct cofiring yang melibatkan pembakaran biomassa dalam boiler yang sama dengan batubara. Ini adalah metode cofiring yang paling umum dan paling murah dan kemungkinan merupakan pilihan yang cocok untuk tujuan yang dimaksudkan dari co-firing

berbiaya rendah dan rasio rendah.

Salah satu cara alternatif bahan bakar ramah lingkungan dengan cara meningkatkan produksi pembangkit listrik dengan co-firing biomassa. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara sebesar 18 Giga Watts (GW) dengan rencana cofiring dapat berfokus pada peningkatan kapasitas produksi target green energy sebesar 12,710 GWh dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 11 juta ton CO<sub>2</sub> hingga tahun 2025. Untuk mencapai target produksi tersebut dibutuhkan proporsi substitusi batubara dengan biomassa yang dilakukan secara bertahap dengan campuran sampah dan limbah/hasil hutan hingga 70% terhadap total kebutuhan batubara tergantung dari tipe sistem PLTU terkait. Sistem boiler PLTU terdiri dari tiga tipe, yaitu tipe PC (Pulverized Coal) dan tipe CFB (Circulating Fluidized Bed) masing-masing membutuhkan hingga 10% hingga 30% biomassa dan tipe Stoker menggunakan hingga 70% biomassa.

Rencana co-firing biomassa yang diajukan akan membutuhkan tidak kurang dari penciptaan industri biomassa skala besar, untuk menyediakan pasokan bahan bakar co-firing yang stabil di setiap lokasi PLTU dibutuhkan biomassa sebesar 10 juta ton per tahun[1]. Bahan baku biomassa dari produk pertanian yang melimpah dapat diproduksi melalui berbagai proses hingga menjadi produk biomassa. Hasil dari proses pengolahan biomassa dapat digunakan secara langsung untuk menghasilkan panas dan energi listrik. Selain itu, juga dapat digunakan sebagai bahan bakar gas, cair dan padat[4]. Persoalan pasokan biomassa yaitu impor biomassa meningkat secara signifikan dengan peningkatan yang mencolok pada cangkang sawit dan pelet kayu sementara di dalam negeri diperlukan untuk pembangkit listrik dalam negeri.

Sementara co-firing pada rasio yang lebih tinggi lebih dari 50% (berdasarkan energi) secara teknis layak, namun saat ini operasi co-firing lebih sering dilakukan di bawah rasio 5% secara berkelanjutan[5]. Implementasi cofiring rasio yang lebih tinggi memerlukan biaya potensial yang secara inheren spesifik perlokasi. Jumlah investasi modal yang diperlukan tergantung pada jenis dan rasio biomassa, metode co-firing yang direncanakan, dan kondisi PLTU tertentu. Modifikasi sistem handling dan penyimpanan bahan bakar berpotensi diperlukan mengingat sifat biomassa yang berbeda, meskipun modifikasi pembangkit listrik yang lebih besar mungkin tidak diperlukan jika rasio cofiring dibatasi pada tingkat yang rendah. Sifat biomassa yang berbeda seperti ukuran partikel, persyaratan penyimpanan, sifat kimia, dan kandungan kalori semuanya perlu dipertimbangkan saat mengevaluasi implementasi co-firing.

## **METODE**

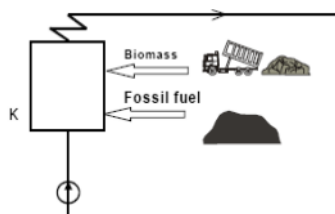
### **Sistem Pembakaran Co-firing**

Sistem pembakaran co-firing adalah proses pembakaran dari dua atau lebih bahan bakar yang berbeda secara bersamaan, co-firing juga diartikan sebagai proses pembakaran dari bahan bakar biomassa dengan menggantikan sebagian batubara di dalam pembangkit listrik tenaga uap yang sama dengan menggunakan ruang bakar yang biasa digunakan untuk pembakaran batubara atau menggunakan ruang pembakaran baru yang khusus didesain untuk digunakan baik batubara maupun biomassa atau bagi campuran keduanya[6]. Penerapan teknologi ini merupakan salah satu upaya untuk penyelamatan lingkungan di salah satu sisi dan keuntungan finansial.

Penerapan teknologi co-firing ada 3 (tiga) antara lain adalah sebagai berikut:

a. Direct Co-firing

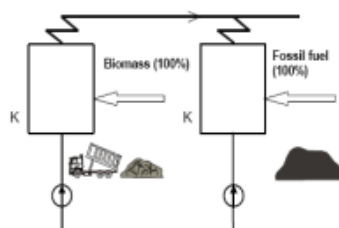
Biomassa dimasukan ke boiler yang bersamaan dengan batubara. Pencampuran dilakukan di stockpile, di pulverizer, maupun disuplai dengan sistem terpisah. Metode ini yang paling banyak digunakan dalam proses co-firing, dengan pertimbangan bahwa ketika biomassa dan batubara disuplai dalam kondisi yang sama, maka pengendalian parameter pembakaran dapat lebih seragam



Gambar 1. Direct Co-firing

b. Pararel Co-firing

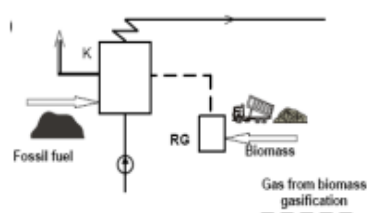
Pembakaran biomassa dilakukan di furnace boiler yang terpisah. Biasanya metode ini diterapkan jika karakter biomassa dan batubara banyak terdapat perbedaan. Steam yang dihasilkan dari boiler biomassa kemudian dialirkan ke boiler utama batubara. Pendekatan ini menggunakan boiler biomassa yang terpisah dari boiler batubara.



Gambar 2. Pararel Co-firing

c. In-direct Co-firing

Bahan bakar biomassa digasifikasi terpisah, kemudian gas yang dihasilkan akan di suplai dan dibakar di boiler. Dapat juga menggunakan biogas yang dihasilkan dari proses anaerobic digestion.



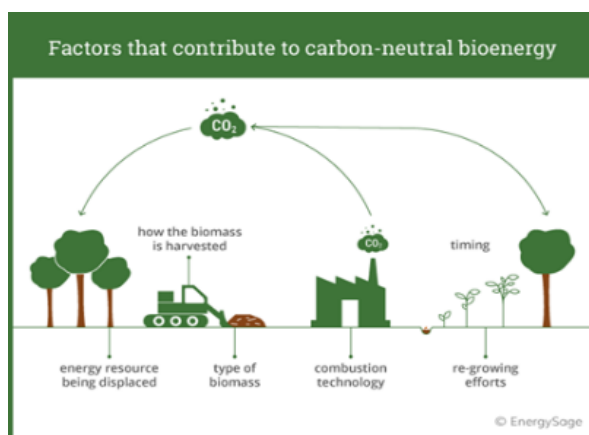
Gambar 3. In-direct Co-firing

**Biomassa**

Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung atau tidaklangsung dan dimanfaatkan sebagai energi, biomassa bersumber dari alami, penggunaan biomassa sebagai sumber energi merupakan sumber energi dengan jumlah bersih CO2 yang nol, oleh karenanya tidak berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca, ini juga berarti biomassa adalah karbon netral. Dari siklus tersebut, kita dapat melihat bahwa tidak ada peningkatan jumlah karbon di udara. Biomassa yang semula termasuk pohon, selama masa hidupnya, telah banyak menyerap karbon dan pada akhir hidupnya

pohon akan melepaskan karbon ke atmosfer. Dengan membakar biomassa di PLTU Batubara, akan mengubah sisa karbon di pohon yang hanya akan menguap tanpa dimanfaatkan menjadi energi yang bisa digunakan untuk menggantikan batubara.

Unit pembangkit yang menerapkan co-firing biomassa juga merupakan lingkungan kategori netral karbon yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan PLTU Batubara yang ada saat ini yang karbon positif. Penerapan co-firing di banyak negara telah menjadi tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dengan mengganti penggunaan batu bara dengan biomassa. Polutan seperti SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> juga berkurang dengan sifat yang berbeda dan kandungan sulfur yang lebih rendah dari sebagian besar bahan bakar biomassa. Strategi untuk meningkatkan kontribusi biomassa untuk memenuhi RUEN dan NDC Indonesia sebesar 29% pengurangan emisi GRK pada tahun 2030.



Source: [www.energysyage.com](http://www.energysyage.com)

Gambar 4. Siklus karbon netral

### Tipe Boiler PLTU

Di PLTU ada beberapa jenis boiler yang digunakan dalam teknologi co-firing biasanya bergantung pada teknologi pembakaran berbahan bakar batubara atau gas yang ada. Boiler yang umum digunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara yang ada adalah boiler Pulverized Coal Combustion (PCC), boiler Fluidized Bed Combustion (FBC), dan boiler Packed-Bed Combustion (PBCP). Perbandingan antara sistem pembakaran bersama biomassa-batubara yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Teknologi pembakaran batubara yang umum tersedia dalam sistem co-firing biomassa[7]

Sistem Co-Combustion	Operasi yang dibutuhkan	Co-firing Percentage (% heat)	Technical Features
Pulverized Combustion	Fuel type: coal, sawdust, and fine shavings Particle type: 10-20 mm Moisture content: 20wt%	1-40%	Dapat menurunkan NO <sub>x</sub> , secara signifikan, Dibatasi oleh ukuran partikel biomassa dan kadar air.
Fluidized-bed combustion	Fuel type: various fuels, better suited for woody biomass than herbaceous biomaterial	60-95.3%	Fluidized bed combustion system Sistem pembakaran unggun terfluidisasi



	Particle size: < 40 Mm (CFB)		adalah boiler yang paling cocok untuk pembakaran bersama biomassa. Pembentukan jelaga adalah bermasalah, terutama di CFB. Tidak cocok untuk cofiring langsung, meskipun dapat digunakan untuk cofiring paralel atau tidak langsung.
Packed-bed combustion	Fuel type: wide range of fuels, including coal, peat, straw, and woody residues Particle size: fairly, large pieces 30 mm	3-70%	

Rencana pembangkit listrik yang ada di Indonesia saat ini menyarankan penggunaan direct co-firing yang melibatkan pembakaran biomassa dalam boiler yang sama dengan batubara. Ini adalah metode co-firing yang paling umum dan paling murah dan kemungkinan merupakan pilihan yang cocok untuk tujuan yang dimaksudkan dari co-firing berbiaya rendah dan rasio rendah. Metode lain, seperti pembakaran tidak langsung, melibatkan gasifikasi biomassa. Ini lebih mahal tetapi dapat menjadi pilihan yang lebih baik dalam situasi dimana biomassa lebih besar dari biomassa diperlukan

### Feedstock Biomassa

Pemilihan bahan bakar biomassa yang tepat sangat penting dikarenakan kualitas biomassa dapat sangat bervariasi. Proses pretreatment yang berbeda mungkin diperlukan untuk memastikan kesesuaian untuk co-firing. Proses pretreatment biasanya melibatkan pengeringan, densifikasi, dan paletisasi biomassa mentah untuk meningkatkan sifat bahan bakar.

Pertimbangan berikut harus diambil ketika menggunakan biomassa:

- Kepadatan energi yang lebih tinggi, dengan kadar air yang lebih rendah dan Nilai Kalor yang lebih tinggi (CV, kandungan energi per satuan massa yang biasanya dinyatakan dalam kkal/kg) co-firing biomassa yang berpotensi mempengaruhi operasi pembangkit listrik dan efisiensi untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama. Jumlah bahan bakar yang lebih besar akan menambah beban pada sistem handling bahan bakar PLTU.
- Transportasi yang lebih efisien. Biomassa sebagian besar memiliki kepadatan energi yang lebih rendah, membutuhkan volume yang lebih besar untuk diangkut dan meningkatkan biaya transportasi. Hal ini semakin diperparah oleh sifat menyerap air dari biomassa yang menimbulkan tantangan lebih lanjut untuk transportasi jarak jauh.
- Kesesuaian sifat fisik dan kimia untuk PLTU. Dampak biomassa pada operasi PLTU harus diteliti secara rinci, termasuk persyaratan untuk operasi boiler seperti sifat fisik dan kimia, serta persyaratan penanganan dan penyimpanan khusus. Berbagai jenis boiler juga akan mempengaruhi pemilihan mengingat toleransi bahan bakar yang berbeda.

Tabel 2 di bawah ini menguraikan berbagai jenis bahan bakar biomassa tipikal dengan mengacu pada Nilai Kalor yang berbeda. Rincian perbandingan biomassa dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2: Perbandingan Bahan Bakar Biomassa

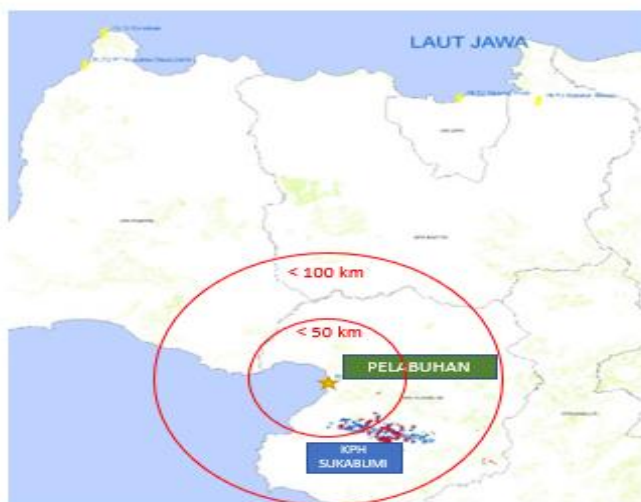
Type Biomassa	Caloric Value (kCal/kg)
Sawdust	2000 - 3600
Pellet Waste	3400
Palm Kernel Shell	4000 - 4800
Wood chip	4100 - 4319
Rice Husks Pellet	3700
Coal	3500 - 4900

Co-firing melibatkan pembakaran biomassa padat yang dapat diperoleh dari limbah industri kehutanan atau kayu, pertanian, limbah padat perkotaan, dan tanaman energi khusus. Co-firing menawarkan manfaat dari biaya modal yang lebih rendah, skala ekonomi yang lebih baik, dan efisiensi PLTU besar yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit listrik biomassa murni yang lebih kecil yang tidak memiliki skala. Untuk memenuhi bahan baku co-firing harus memastikan kesiapan rantai pasokan biomassa dan kesiapan biomassa dari segi volume dan harga. Kayu hasil Hutan Tanaman Industri atau Energi bisa dijadikan bentuk biomassa serbuk kayu kemudian dikirim ke PLTU untuk dijadikan bahan bakar co-firing. Rantai pasokan biomassa di mulai dari perhutanan atau pengolahan biomassa yang berjarak kurang dari 100 KM dari PLTU untuk harga yang terjangkau untuk dibeli oleh pembangkitan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemetaan Potensi Biomassa dari Hutan Tanaman Energi

Pemerintah mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan berbasis metode co-firing pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan memanfaatkan biomassa sebagai substitusi (campuran) batubara. Sebagai tindak lanjutnya, menyiapkan PLTU yang dapat dijadikan program co-firing. Harapannya, dengan melakukan inventarisasi PLTU untuk program co-firing dapat meningkatkan bauran energi terbarukan di Indonesia. Keberadaan PLTU co-firing berada pada area potensi biomassa seperti hutan tanaman industri maupun energi. Setidaknya pada radius 50 km hingga 100 km, dapat ditemukan potensi biomassa yang dapat menjadi sumber pemenuhan feedstock dalam pelaksanaan program PLTU co-firing. Sehingga jarak tempuh feedstock ke pembangkit tidak cukup jauh dan dapat membuat harga biomassa lebih murah. Hal ini akan dapat menjamin keberlangsungan pemasokan feedstock yang dibutuhkan oleh pembangkit.



Gambar 5. Potensi HTE milik Perhutani Klaster Sukabumi

Setelah didapatkan sebaran potensi biomassa dari hutan produksi selanjutnya dilakukan perhitungan potensi biomassa disekitar PLTU Pelabuhan Ratu dengan menggunakan radius 50 km dan paling terjauh 100 km dari titik pusat PLTU tersebut. Terdapat beberapa Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Perum Perhutani yang yang dapat mendukung pasokan biomassa ke PLTU Pelabuhan Ratu, yaitu KPH Sukabumi. Untuk pembangunan pabrik Biomassa ada disekitaran KPH Sukabumi dengan jarak ke PLTU sekitar 30 km, perhitungan potensi ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Potensi HTE KPH Perum Perhutani

KPH	Luas (Ha)	Potensi Biomassa (Ton/Tahun)
Sukabumi	4.519	164.644

Pengaturan hasil pemenuhan biomassa untuk PLTU Pelabuhan Ratu berdasarkan kuota co-firing 5% yaitu sebesar 236.520 Ton/tahun. Rencana pengaturan hasil tanaman biomassa untuk pemenuhan PLTU Pelabuhan Ratu hanya akan memasok sesuai dengan kesiapan tanaman yang sudah direncanakan saat ini. Pada skenario ini ditentukan etat tebang. Etat tebang adalah jatah tebang setiap tahun agar memperoleh jumlah tebang yang merata sepanjang siklus

### Identifikasi Potensi Biomassa HTE

Pemilihan pohon yang tepat sebagai sumber biomassa untuk energi perlu dilaksanakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal di dalam menghasilkan energi. Nilai kalor merupakan indikator yang penting dalam penentuan jenis kayu untuk energi. Nilai kalor suatu bahan bakar menunjukkan jumlah energi yang dilepaskan suatu bahan bakar dalam pembakaran sempurna. Menurut Montes dkk. (2011) nilai kalor bergantung pada komposisi kimia, kadar air, kerapatan, dan kadar abu yang terdapat dalam kayu. Haygreen dan Bowyer dalam buku Soettjipto (2007) menjelaskan bahwa nilai kalor juga bervariasi antar jenis karena bervariasinya proporsi zat arang, oksigen, dan hidrogen yang ada. Fengel dan Wegener (1995) menyebutkan bahwa keberadaan kulit berkisar antara 10% – 20% dari batang tergantung pada jenis pohon dan kondisi pertumbuhan. Kandungan kadar air akan merubah nilai kalor. Semakin tinggi kadar air, maka nilai kalornya akan semakin turun.



Tabel 4. Tanaman energi yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia

No	Nama pohon	Nama latin	Nilai kalor (kcal/kg)*	Rerata siklus tanaman (tahun)
1	Acacia Auri (akor)	<i>Acacia Auriculiformis</i>	4.500	5
2	Mangium	<i>Acacia mangium</i>	4.000	5
3	Kaliandra	<i>Caliandra calothyrsus</i>	4.600	4
4	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	4.000	3
5	E. Pelita	<i>Eucalyptus pelita</i>	4.000	5
6	Lamtrogung	<i>Leucaena luciocephalid</i>	4.400	5
7	Pilang	<i>Acacia Leucophloea</i>	4.500	4
8	Turi	<i>Sesbania grandiflora</i>	4.000	5

\* Nilai kalor yang tercantum adalah rangkuman yang diolah dari berbagai macam sumber

### Analisis Hasil Pengujian Ultimate dan Proximate

Didapatkan kaliandra cacah memiliki kadar air 21,1% dengan nilai kalor 3.642 kcal/kg. Gamal dalam bentuk cacah memiliki kadar air 26,8% dengan nilai kalor 3.471,5 kcal/kg. Apabila biomassa tersebut dalam bentuk tepung, maka kaliandra memiliki kadar air 8,48% dan nilai kalor 4.218,3 kcal/kg. Sedangkan rerata gamal dalam bentuk tepung memiliki kadar air 8,25% dan nilai kalor 4.185 kcal/kg. Dapat disimpulkan bahwa dengan biomassa kaliandra dan gamal dalam bentuk tepung layak untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar PLTU karena batubara yang digunakan umumnya memiliki nilai kalor berkisar 4.100 kcal/kg.

Tabel 5. Hasil pengujian ultimate dan proximate biomassa HTE

Jenis Biomass	Jenis Treatment	Total Moisture % ar	Proximate Analysis				Total Sulfur (adb) kcal/kg	Gross Calorific Value (ar) kcal/kg	Ultimate Analysis			
			Moisture in Analysis % adb	Ash Content % adb	Volatile Matter % adb	Fixed Carbon % adb			C %adb	H %adb	N %adb	O %adb
Kaliandra	Cacah	21.13	8.45	1.05	73.90	16.60	0.11	3642	46.39	6.45	0.45	45.56
	Tepung	8.48	6.48	1.02	74.78	17.72	0.11	4218	46.92	6.63	0.54	44.81
Gamal	Cacah	26.83	7.83	2.48	71.73	17.98	0.12	3471	46.22	6.35	0.55	44.28
	Tepung	8.25	6.98	2.44	72.21	18.37	0.12	4185	46.16	6.59	0.64	44.07

### Proses Pengolahan Sampel Biomassa Kayu dari HTE

Tanaman biomassa yang siap dipanen selanjutnya ditebang dan diolah agar bisa dimasukkan ke dalam boiler yang digunakan. Proses pengolahan tanaman biomassa menjadi sawdust tidak terlalu rumit, tetapi juga tidak sederhana. Tidak terlalu rumit, karena sebenarnya proses pembuatannya membutuhkan mesin sederhana yaitu mesin woodchipper dan hammer mill. Tidak sederhana, karena walaupun penggunaan mesinnya sederhana tetapi perlu memperhatikan kadar air, ukuran partikel, dan nilai kalor agar sesuai dengan spesifikasi bahan bakar pada desain boiler. Untuk boiler jenis Pulverized Coal (PC) spesifikasi lebih tinggi membutuhkan ukuran partikel yang lebih kecil, kadar air yang rendah dan nilai kalor yang tinggi. Untuk jenis boiler Circulating Fluidized Bed (CFB) dan Stoker membutuhkan spesifikasi pasokan yang lebih rendah. Proses pengolahan serbuk kayu tersebut meliputi penebangan, kemudian dilakukan proses wood chipping (pencacahan pertama), pengangkutan, proses pengeringan, proses penepungan (hammer mill) menjadi serbuk kayu dan pengangkutan menuju lokasi off-taker.

Tabel 5. Proses pembuatan sawdust beserta rendemen

No.	Drying	Rendemen
1	Natural Dried	28,57%
2	Dryer (15% limbah hutan+ 85% biomassa)	28,98%
3	Dryer (limbah 100%)	40,48%

Proses pengeringan natural dried adalah proses pengeringan dari energi radiasi matahari, sedangkan dryer adalah proses pengeringan menggunakan alat pemanas dengan bahan bakar tertentu. Rendemen dengan natural dried di mulai proses pengolahan log kayu menjadi sawdust siap masuk ke boiler adalah sebesar 28,57% atau dari 88 ton akan menjadi 25,15 ton.

### Rancangan Basic Design Industri HTE

#### Kebutuhan Biomassa

PLTU Pelabuhan Ratu memiliki kapasitas pembangkit 3x350 MW, dengan kebutuhan batubara sebesar ± 8.640 Ton setiap harinya. Tipe boiler yang dimiliki oleh PLTU Pelabuhan Ratu sendiri berjenis boiler Pulverized Coal dimana produk biomassa yang sesuai dengan jenis boiler tersebut adalah jenis biomassa sawdust. Berdasarkan data teknis produktivitas rata-rata lahan HTE pada KPH di sekitar PLTU Pelabuhan Ratu yang telah dilakukan survei adalah sebesar 88 Ton Kayu HTE/Ha. Dari produktivitas kayu tersebut, didapatkan rata-rata produktivitas lahan HTE memproduksi biomassa yaitu sebesar 25,15 Ton Biomassa/Ha.

#### Data Teknis PLTU

Batubara yang digunakan pada pembangkit PLTU Pelabuhan Ratu adalah medium rank coal (4500-5000 kcal/kg) dan low rank coal (4000-4400 kcal/kg). PLTU Pelabuhan Ratu telah melakukan uji coba serta implementasi co-firing dengan menggunakan biomassa serbuk kayu (sawdust). Biomassa berupa sawdust diperoleh dari beberapa pengusaha pengrajin kayu serta pengepul yang berada di sekitaran PLTU Pelabuhan Ratu.

Tabel 6. Data spesifikasi sawdust yang digunakan pada saat uji coba

Parameter Proximate	Unit (Ar)	Nilai
Total Moisture	%	53.28
Ash Content	%	1.72
Volatile Matter	%	21.71
Fixed carbon	%	16.1
Total sulphur	%	0.02
Gross calorific value	kCal/kg	18567
HGI	-	<31

Hasil dari uji coba tersebut menunjukkan bahwa parameter operasi pada PLTU (load, total coal biomass flow, main steam temperature, dan main steam flow) selama uji coba berjalan relative normal. FEGT juga masih dalam batas aman dan rata-rata cenderung turun dari 1125 °C ke 1079 °C. Hasil uji emisi juga menunjukkan adanya penurunan pada tingkat SO2 dan NOx pada emisi gas buang hasil pembakaran pada boiler. Dari hasil uji coba ini dapat disimpulkan bahwa co-firing 5% yang dilakukan di PLTU Pelabuhan Ratu masih aman dan dalam batas normal.

#### Komponen Investasi Pabrik Biomassa

Perancangan pabrik pemasok biomassa untuk keperluan PLTU diperhitungkan dengan mempertimbangkan kebutuhan PLTU dan juga kemampuan pasokan dari HTE yang dikelola

dari pemasok. Dengan biomassa (gamal dan kaliandara) yang memiliki nilai kalor 4.100 kcal/kg, maka dibutuhkan 347,69 ton sawdust untuk memasok PLTU Pelabuhan Ratu. Kebutuhan pabrik biomassa ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 7. Data investasi pabrik pengolahan PLTU Pelabuhan Ratu

Jenis Modal	Kebutuhan Pabrik			
	Unit	Spesifikasi	Total (Rp)	
1	Mesin Mobile Chipper	28	Kap.5 TPH. Daya 30 kW	2.016.000.000
2	Hammer Mill	9	Kap. 5 TPH. Daya 172 kW	3.838.086.000
3	Wheel Loader	1	Bomac BWL-22RZ	450.000.000
4	Steer Loader	1	Bomac TX-3505	400.000.000
5	Belt Conveyor			708.493.500
6	Roller Conveyor			35.000.000
7	Konstruksi Storage		Luas: 9.595 m <sup>2</sup>	26.778.663.785
8	Konstruksi pabrik		Luas: 724 m <sup>2</sup>	3.798.600.000
9	Konstruksi penjemuran		Luas: 21.062 m <sup>2</sup>	5.225.105.129
10	Jembatan Timbang			300.000.000
11	Mesin. Equipment Lainnya			4.165.645.491
	Total Investasi			49.487.354.905

#### Komponen Harga Keekonomian

Dalam menentukan harga keekonomian biomassa maka perlu dihitung terlebih dahulu harga pokok produksi (HPP) biomassa yang terdiri dari harga kayu. Biaya pengolahan dan Biaya Transportasi. Harga Kayu Terdiri dari biaya tegakan seperti biaya bibit, biaya tanam, biaya pemeliharaan, biaya non-teknis, biaya manajemen serta PSDH dan biaya pemanenan. Biaya Pengolahan terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya energi/listrik, biaya transportasi KPH – pusat pengolahan biomassa dan biaya depresiasi alat. Biaya Transportasi Merupakan biaya yang dibutuhkan untuk pengiriman produk biomassa HTE ke PLTU Pelabuhan Ratu, dipengaruhi oleh jarak dan besaran biaya/km. Komponen biaya yang akan diestimasi yaitu harga kayu, biaya pengolahan, biaya transportasi sehingga membentuk harga pokok produksi (HPP) Biomassa.

Tabel 7. Komponen harga keekonomian biomassa (co-firing 5%)

No.	Komponen Harga	Harga (Rp/Ton)
1	Harga Kayu	274.757
2	Biaya Pengolahan	304.213
3	Biaya Transportasi KPH ke PLTU	66.960
A	Total (1+2+3) HPP Biomassa	645.931
B	Biaya Investasi	96.533
(A+B)	Harga Keekonomian Biomassa	742.464

Harga keekonomian dapat didefinisikan sebagai harga jual yang dapat memberikan keuntungan dari investasi yang telah dilakukan. harga ini melindungi penanam modal dari kerugian investasi berdasarkan konsep nilai waktu uang. Untuk menentukan harga keekonomian biomassa HTE, maka digunakan pendekatan capital budgeting. Estimasi harga keekonomian dicari dengan menentukan harga di atas HPP yang dapat membuat investasi menghasilkan IRR = Biaya Modal + 2% sehingga NPV > 0. Biaya modal yang digunakan adalah biaya modal acuan yang digunakan oleh PT PLN, yaitu 9.1%. Sedangkan 2% merupakan premi keuntungan yang diharapkan dari proyek yang akan dijalankan. Asumsi lain yang digunakan terkait biaya

modal adalah penggunaan utang bank sebesar 70% dan 30% modal sendiri dengan asumsi biaya bunga sebesar 10%. Biaya modal yang diperlukan yaitu Rp. 49.487.354.905 untuk pengolahan biomassa sawdust kebutuhan 5% PLTU Pelabuhan Ratu.

Tabel 7. Harga keekonomian biomassa

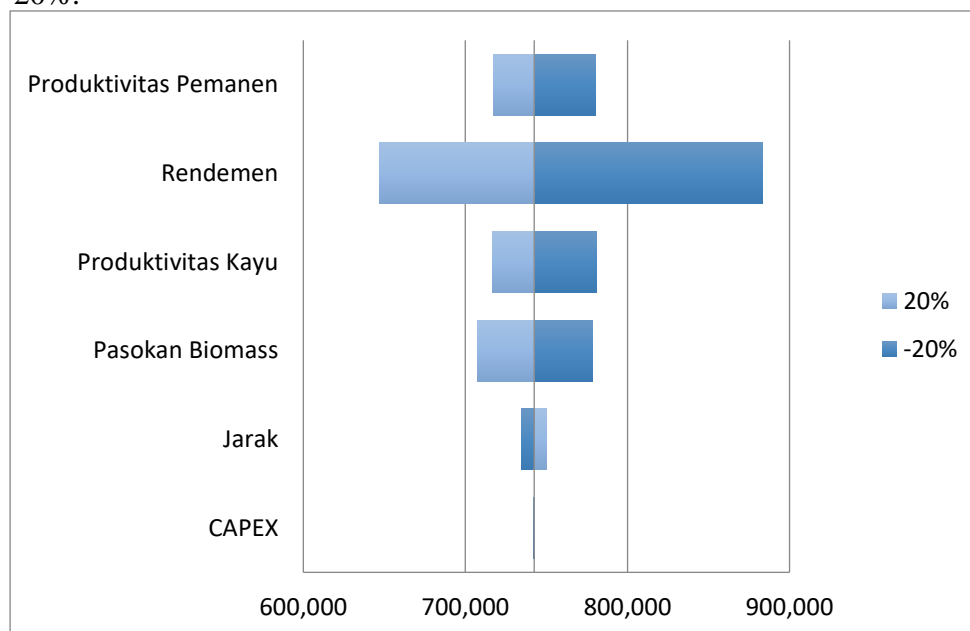
No	Komponen Keekonomian	Nilai
1	Net Present Value	Rp 7.535.900.979
2	IRR	11.1 %
3	Payback Period (Years)	7.8 Tahun

Untuk menentukan harga keekonomian tersebut, perlu menghitung kriteria kelayakan investasi, seperti net present value (NPV) > 0 dari hasil perhitungan didapat NPV Rp 49.487.354.905, internal rate of return (IRR) sebesar 11.1%, serta payback period (PP) selama 7.8 Tahun yang kemudian disesuaikan kriteria investasi yang dipersyaratkan untuk harga keekonomian biomassa menjadi layak apabila PLTU Pelabuhan Ratu membeli biomassa dengan harga Rp. 742.464/Ton.

#### Sensitivitas Harga Keekonomian

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap perubahan harga keekonomian. Analisa sensitivitas digunakan untuk mengetahui langkah mengoptimalkan penyesuaian kesanggupan pembelian biomassa PLTU Pelabuhan Ratu dimana batas acuan harga patokan tertinggi biomassa Rp751.353. Harga patokan tertinggi berdasarkan aturan yang berlaku di PLTU Pelabuhan Ratu dimana untuk pembelian biomassa mengacu harga batubara yang disetarakan nilai kalornya.

Terdapat enam faktor yang dianalisis sensitivitasnya dalam penentuan harga keekonomian biomassa di PLTU Pelabuhan Ratu yaitu harga kayu, produktivitas pemananen, rendemen, produktivitas kayu, jumlah pasokan, jarak dan CAPEX dengan tingkat sensitivitas yang diuji sebesar +/- 20%.



Gambar 7. Analisa Sensitivitas Harga Keekonomian Biomassa

Rendemen proses pengolahan biomassa menjadi faktor yang memiliki pengaruh terhadap harga keekonomian paling tinggi. disusul oleh harga kayu, produktivitas pemanen, produktivitas kayu, pasokan biomassa, jarak, dan CAPEX. Peningkatan rendemen sebesar 20% akan mengubah harga dari Rp742.464 per ton menjadi Rp 647.297 sedangkan penurunan rendemen sebesar 20% akan menaikkan harga menjadi Rp 883.396. Peningkatan harga kayu sebesar 20% akan meningkatkan harga keekonomian menjadi Rp 781.097 dan penurunan harga kayu sebesar 20% akan menurunkan harga keekonomian menjadi Rp716.703. Upaya yang bisa dilakukan untuk menyesuaikan kesanggupan pembelian biomassa PLTU Pelabuhan Ratu antara lain meningkatkan rendemen atau menurunkan harga kayu.

## KESIMPULAN

Implementasi co-firing memerlukan biaya potensial yang secara inheren spesifik lokasi. Jumlah investasi modal yang diperlukan tergantung pada jenis dan rasio biomassa, metode co-firing yang direncanakan, dan kondisi PLTU tertentu. PLTU Pelabuhan Ratu memiliki kapasitas pembangkit 3x350 MW, dengan kebutuhan batubara sebesar  $\pm 14.350$  Ton setiap harinya. Tipe boiler yang dimiliki oleh PLTU Pelabuhan Ratu sendiri berjenis boiler Pulverized Coal. Pengaturan hasil pemenuhan biomassa untuk PLTU Pelabuhan Ratu berdasarkan 236.520 Ton/tahun. Harga keekonomian biomassa menjadi layak dengan NPV > Rp. 7.535.900.976, IRR 11.1% dan Payback Periode 7.8 Tahun dengan ketentuan apabila PLTU Pelabuhan Ratu membeli biomassa dengan harga Rp. 742.464/Ton. Upaya yang bisa dilakukan untuk menyesuaikan kesanggupan pembelian biomassa PLTU Pelabuhan Ratu antara lain meningkatkan rendemen atau menurunkan harga kayu.

## REFERENSI

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, ” 2014.  
<https://jdih.esdm.go.id/peraturan/PP%20No.%2079%20Thn%202014.pdf>
- [2] PT PLN (Persero), “RUPTL PT PLN (Persero) Tahun 2021-2030,” 2020.  
<https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/10/ruptl-2021-2030.pdf>
- [3] Laporan Tahunan Annual Report Perhutani 2020.”2020.  
[https://drive.google.com/file/d/1E-spiZwE5f\\_RrU9bR9BCamjkgarsFvEx/view](https://drive.google.com/file/d/1E-spiZwE5f_RrU9bR9BCamjkgarsFvEx/view)
- [4] Public Summary 2021 final sukabumi.  
<https://drive.google.com/drive/folders/1U4ZK6OuX2UK2rAGcWIaByh0n0OzxV6fA>
- [5] *Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia*, “*Hanbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2021*, ”2022.  
<https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2021.pdf>
- [6] Achmad Royhan dan I Made Indradjaja Marcus Brunner (*PLN Institut of Technology*), “*Rice Husk Renewable Energy Potential in Indonesia, A Case Study Biomass Steam Power Plant in Ogan Ilir, South Sumatera*,” *Intenational Conference of Technology and Policy in Energy Power (ICT-PEP)*, 2021.  
[https://www.researchgate.net/publication/356353161\\_Rice\\_Husk\\_Renewable\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/356353161_Rice_Husk_Renewable_Energy)



---

[Potential in Indonesia A Case Study Biomass Steam Power Plant in Ogan Ilir South Sumatera](#)

- [7] Fetria Tanbar, Sahrijal Purba, Agus Salim Samsudin, Eko Supriyanto, Indra A. Aditya “Analisa karakteristik pengujian cofiring biomassa sawdust pada PLTU *Type Pulverized Coal Boiler* sebagai upaya bauran renewable energi,” 2021. [https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal\\_OFFSHORE/article/view/928](https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_OFFSHORE/article/view/928)