



VARIASI RASIO *CO-FIRING* BATUBARA DAN SAWDUST (SERBUK Gergaji) TERHADAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Diah Putri Lubis^{a*}, Khaira Umma Tambunan^a

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

*Corresponding authors at: diahputrilubis@students.polmed.ac.id (Diah Lubis) Tel.: +6281262100657

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 17 September 2024

Direvisi pada 22 Februari 2025

Disetujui pada 27 Februari 2025

Tersedia daring pada 01 Maret 2025

Kata kunci:

Co-firing, batubara, sawdust.

Keywords:

Co-firing, coal, sawdust.

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit yang menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan panas pada bahan bakar sebagai sumber energi. Batubara telah mengalami fase krisis energi, oleh karena itu pemerintah mengusulkan metode *co-firing* yaitu pembakaran batubara dan biomassa. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui proses *co-firing* di PLTU Pangkalan Susu, performa *co-firing* berdasarkan nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR), *Fuel Feed Rate* (FFR), serta *auxiliary consumption*, nilai perbandingan optimal, serta pengaruh *co-firing* kepada masyarakat dan PLTU Pangkalan Susu. Metode penelitian diambil dengan persiapan, studi literatur, identifikasi masalah yang ada, serta pengumpulan data primer dan sekunder. Hasil penelitian ini yaitu terjadi penurunan energi total dari 1402,83 MWH menjadi 1388,44 MWH. Nilai NPHR dari 3,563 kcal/kwh menjadi 3,701 kCal/kWh, nilai FFR dari 120,00 Ton/h menjadi 124,00 Ton/h, serta *auxiliary consumption* dari 0,009% menjadi 0,011%, Nilai perbandingan optimal *co-firing* saat tanggal 15 Februari 2024, serta pengaruh *co-firing* kepada Masyarakat dan PLTU Pangkalan Susu yang menghasilkan penggunaan sawdust sebanyak 73,20 Ton yang setara dengan penghematan biaya sebesar Rp.35.068.335, serta membantu ekonomi masyarakat sebesar Rp. 54.276.336.

ABSTRACT

A steam power plant (PLTU) uses the heat from fuel as an energy source to generate electrical energy. The government suggested a *co-firing* technique, which involves burning coal and biomass, because coal has gone through an energy crisis. This study's goals are to ascertain the Pangkalan Susu PLTU's *co-firing* procedure, *co-firing* performance based on auxiliary consumption, fuel feed rate, net plant heat rate (NPHR), and optimal comparison values, as well as the impact of *co-firing* on the Pangkalan Susu PLTU and the community. Preparation, literature review, problem identification, and primary and secondary data collecting were all part of the research methodology. The total energy decreased from 1402.83 MWH to 1388.44 MWH as a result of this investigation. *Co-firing's* optimal comparison value was on February 15, 2024; its impact on the community and Pangkalan Susu PLTU resulted in the use of 73.20 tons of sawdust, which is equivalent to cost savings of Rp. 35,068,335 and contributes Rp. 54,276,336 to the community's economy; and its NPHR value increased from 3.563 kcal/kwh to 3.701 kCal/kWh; its FFR value increased from 120.00 to 124.00 to 0.011%; and auxiliary consumption decreased from 0.009% to 0.011%.

1. PENGANTAR

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang menghasilkan energi listrik dengan menggunakan energi kinetik dari uap. Sebagian besar PLTU di Indonesia masih memanfaatkan bahan bakar fosil (batubara) untuk menghasilkan listrik selama masih tersedia, namun persediaan batubara semakin hari semakin menipis dan telah berada pada fase krisis energi yang menjadikan persediaan minyak ataupun gas bumi sangatlah terbatas dan tidak dapat diperbaharui, sedangkan kebutuhan manusia dalam menggunakan batubara semakin meningkat. Adapun tanggapan Pemerintah Indonesia menangani kasus krisis energi ini yaitu terdapat pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang dimana berisi mengenai target dalam mencapai Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional agar sebesar 23% pada tahun 2025 (PLN Puslitbang, 2021). Salah satu upaya untuk mencapai target tersebut adalah dengan menggunakan metode *co-firing*.

Co-firing dalam PLTU berbahan bakar batubara adalah teknologi untuk melakukan pencampuran batubara (bahan bakar utama) dengan bahan bakar biomassa dengan perbandingan komposisinya telah ditentukan, dan tetap memperhatikan kualitas bahan bakar sesuai keperluan, serta dapat mengurangi penggunaan batu bara secara perlahan (Ariyanto & Mustakim, 2023). PLN berencana menerapkan *co-firing* terhadap 52 unit PLTU, dan telah berhasil mengimplementasikan *co-firing* sebanyak 28 PLTU di Indonesia, salah satunya yaitu PLTU Pangkalan Susu. Berbagai jenis biomassa telah dilakukan uji coba di berbagai PLTU milik Indonesia *Power* yaitu *sawdust* (serbuk gergaji), Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP), *wood pellet*, *wood chip*, sekam padi hingga pellet sekam padi (PLN Puslitbang, 2021). Limbah serbuk gergaji (*sawdust*) adalah limbah yang berasal dari industri kayu, limbah ini termasuk salah satu limbah terbanyak di Indonesia dan sebagian besar industri kayu masih belum memanfaatkan limbah ataupun mengelolanya dengan baik. Dalam melaksanakan metode *co-firing* ini, terdapat kendala yang mempengaruhi performa pada PLTU Pangkalan Susu. Penggunaan biomassa ini dapat menurunkan nilai kalor yang biasanya dihasilkan dari batu bara, karena pada umumnya biomassa memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara (Tampubolon & Dwiyantoro, 2023). Salah satu cara untuk menanggulangi masalah ini yaitu dengan melakukan variasi rasio biomassa secara tepat agar tidak mempengaruhi ataupun menurunkan performa PLTU. Serta dengan melakukan program *co-fring* ini mampu untuk mengurangi *net zero emission* atau karbon yang dilepas akibat ke atmosfer tidak melebihi jumlah emisi karbon yang mampu diserap bumi, serta mengurangi masalah krisis energi sedikit demi sedikit. Variasi yang dilakukan adalah rasio batubara *low rank coal* dengan biomassa *sawdust*.

1.1. Bahan Bakar

Bahan bakar adalah zat atau material apapun yang digunakan untuk menghasilkan energi, bahan bakar memiliki energi panas yang didapat melalui proses pembakaran atau dioksidasikan (Maridjo & Angga, 2019). Pembakaran tidak dapat terjadi hanya dengan bahan bakar saja, proses pembakaran juga ikut menyertakan proses kimia antar bahan bakar, udara serta adanya panas. Batubara adalah bahan bakar fosil yang berasal dari tumbuhan purba yang tertimbun di dalam tanah yang mengalami tekanan dan suhu tinggi serta menyebabkan adanya perubahan kimia dalam kurun waktu yang sangat lama. Bahan bakar alternatif serbuk gergaji (*sawdust*) merupakan limbah industri berbahan kayu dan termasuk ke dalam bahan bakar yang berasal dari biomassa (Pertiwi, 2024).

1.2. Siklus Bahan Bakar, Pembakaran, dan Udara Pembakaran

PLTU adalah pembangkit yang menghasilkan listrik dengan cara mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Dalam mengkonversikan bahan bakar ini terdapat siklus pembakaran menuju boiler yang harus sangat diperhatikan yaitu siklus bahan bakar ini dimulai dari pengangkutan batubara dengan *Ship Unloader* (SU), kemudian dibawa oleh *conveyer* menuju *coal yard* untuk ditampung, lalu dibawa ke *crusher* untuk pendeteksian kandungan logam di dalamnya dan dihaluskan menjadi ukuran yang lebih kecil, hasilnya ditampung di *coal bunker*, lalu melalui *coal feeder* yang fungsinya sebagai tempat penakaran batubara yang akan masuk ke *mill* (*coal pulverizer*). Didalam *mill*, bahan bakar akan dihaluskan menjadi ukuran 200 mesh (seperti ukuran debu), lalu akan dihembuskan dengan *fan* kedalam *burner* (ruang bakar) (Wibowo & Windarta, 2020).

Siklus pembakaran dan udara juga harus sangat diperhatikan, karena jika ada masalah pada udara ataupun pembakarannya akan menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna dan menyebabkan gas buang yang dibuang ke atmosfer akan berwarna hitam dan membahayakan lingkungan (Gaussian, 2020). Siklus pembakaran dan udara dimulai dari penghembusan bahan bakar yang berada di *mill* menggunakan udara dari sekitar PLTU, udara ini disebut udara primer atau *Primary Air Fan* (PA Fan). Bahan bakar ini dihembuskan ke *burner*, ruang bakar pada PLTU Pangkalan Susu merupakan ruang bakar dengan tipe *Balance Draft*, yaitu pada proses pembakaran diruang bakar membutuhkan udara agar api tetap menyala, oleh karena itu dibutuhkan *Force Draft Fan* (FD Fan), udara ini juga disebut sebagai udara sekunder. Adapun untuk pembuangan gas buang menggunakan alat yang disebut *Induced Draft Fan* (ID Fan), fungsinya untuk menghisap gas buang diruang boiler dan menangani gas pada laju pembakaran maksimum *boiler*, serta apabila ada kebocoran udara di *Air Pre-Heater* (Safitra & Nugroho, 2020). Sebelum dibuang ke atmosfer, udara ini akan melewati *Electrostatic Precipator*, yaitu fungsinya sebagai penangkap abu yang terbawa dalam gas sehingga udara yang dikeluarkan tidak mengandung abu dan debu yang membahayakan (Herlambang, 2020).

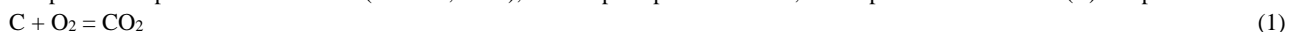
1.3. Reaksi Pembakaran

Kandungan yang dimiliki bahan bakar harus terbakar dengan rasio udara yang tepat pula, jumlah udara dan bahan bakar dalam pembakaran sempurna harus stoikiometris atau setara (Situmorang, 2021). Tabel 1 menunjukkan unsur-unsur pembakaran (Wahyuni, 2020).

Tabel 1: Unsur Pembakaran

Nama Unsur	Simbol	Berat Molekul g/kg.mol)
Karbon	C	12
Hidrogen	H	1
Sulfur	S	32
Oksigen	O	16
Nitrogen	N	7

Adapun reaksi pembakaran menurut (Marbun, 2021), terlihat pada persamaan 1-3, reaksi pembakaran karbon (C) sempurna:



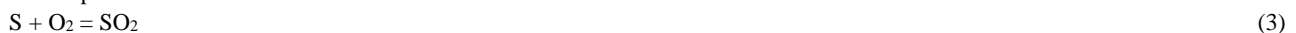
12 + 2×16 = 44, Untuk membentuk 44 kg CO₂ diperlukan 12 kg karbon dan 32 kg Oksigen

Reaksi pembakaran Hidrogen:



2×2 + 2×16 = 36, Untuk membentuk 36 kg H₂O diperlukan 4 kg Hidrogen dan 32 kg Oksigen

Reaksi pembakaran Sulfur:



32+2×16 = 64, Untuk membentuk 64 kg SO₂ diperlukan 32 kg Sulfur dan 32 kg Oksigen.

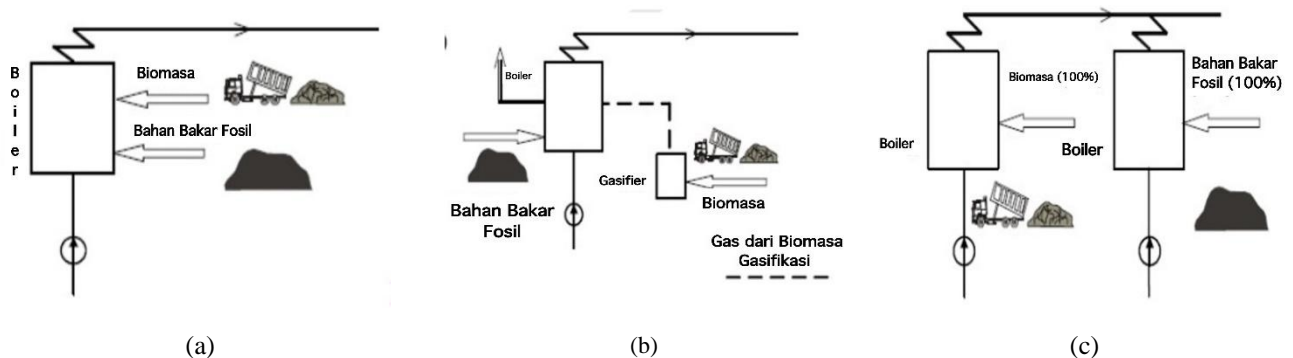
1.4. Co-firing

Co-firing adalah pembakaran bahan bakar utama dengan bahan bakar alternatif secara bersamaan dengan kombinasi rasio yang sesuai (Ilham & Suedy, 2022). Beberapa negara sudah menerapkan teknik *co-firing* ini demi memanfaatkan energi baru terbarukan secara optimal, serta dengan memanfaatkan *co-firing* seperti pada gambar 2. Hal ini juga dapat membantu kebijakan pemerintah dalam menurunkan emisi gas rumah kaca dan pengurangan energi fosil sebagai bahan bakar (Palupi *dkk.*, 2024). Adapun *co-firing* menurut (Nur Cahyo, 2020) adalah:

- Sebagai perbaikan emisi gas buang; Pembangkit listrik yang menggunakan *boiler* batubara akan menghasilkan emisi gas sulfur yang tinggi dan adanya sisa pembakaran abu berskala besar. Sehingga dengan dilakukannya *co-firing* ini abu yang dihasilkan akan lebih berkurang dan H_2SO_4 juga akan berkurang.
- Sebagai peningkatan efisiensi pembakaran; dengan melakukan *co-firing* misalnya dengan meningkatkan nilai kalor untuk *green energy* maka dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.
- Penghematan biaya bahan bakar; sumber dari bahan bakar ini ada dimana saja dan mudah didapatkan, serta tidak perlu waktu lama untuk dapat diperbarui, sehingga dapat mengurangi biaya bahan bakar.

Terdapat 3 teknik *co-firing* sesuai dengan operasi pembakarannya menurut (PLN Puslitbang, 2021) antara lain adalah sebagai berikut:

- Direct co-firing* adalah metode yang paling banyak dipakai dikarenakan simple, namun disisi lain *co-firing* dengan teknik ini mudah terjadi penggumpalan bahan bakar pada ruang bakar. Konsep *direct co-firing* adalah dengan langsung mengumpalkan biomassa ke dalam boiler bersama dengan batubara menggunakan *mill* yang sama (biasanya *co-firing* dengan persentase kurang dari 5% dalam hal konten energi).
- Indirect co-firing* yaitu pembakaran yang melibatkan proses gasifikasi dari biomassa pada gasifier, dimana biomassa akan terkonversi menjadi bahan bakar gas dan kemudian akan dibakar didalam boiler yang sama dengan batubara. Konsep dari *indirect co-firing* adalah dengan proses gasifikasi biomassa yang diumpalkan ke ruang bakar, kemudian abu dari biomassa ini terpisah dari abu batubara, sehingga menghasilkan rasio *co-firing* yang tinggi. Meskipun akan menjadi lebih mahal dikarenakan penambahan gasifier, namun pilihan ini dapat menjadi solusi dalam peningkatan komposisi biomassa yang digunakan dan variasi biomassa yang dapat digunakan.
- Parallel co-firing*; pada proses ini penanganan, pengumpanan, pembakaran dilakukan terpisah. Biomassa dan batubara diumpalkan pada boiler yang berbeda dan *steam* yang dihasilkan dari pembakaran biomassa akan dicampur dengan *steam* yang menggunakan pembakaran batubara. Metode ini dapat digunakan untuk pembakaran biomassa dengan persentase tinggi. Metode ini sering digunakan pada *industry pulp* dan kertas yang mana boiler untuk biomassa menggunakan kulit dan limbah kayu. Metode ini juga membutuhkan investasi awal yang besar karena penambahan boiler dan sistem pengolahan biomassa seperti yang tertera.



Gambar 1: Teknik *Co-firing* (a) *Direct co-firing* (b) *Indirect co-firing* (c) *Parallel co-firing*

1.5. Pengkajian Performa PLTU dan Pengaruhnya

Pembangkit listrik adalah pembangkit yang menghasilkan listrik dengan memanfaatkan sumber dari alam sebagai bahan bakarnya. Energi listrik merupakan kebutuhan penting dan ketiadaan energi ini aktivitas terganggu, karena itu energi listrik harus tersedia sepanjang waktu (Tambunan, 2020). Penggunaan energi listrik secara terus menerus tidak bisa diimbangi apabila performa pada pembangkitnya tidak efisien, perlunya perhitungan performa PLTU berdasarkan:

Net Plant Heat Rate (NPHR) (kCal/kWH)

NPHR adalah suatu ukuran efisiensi termal dari sebuah pembangkit listrik, yang menunjukkan seberapa banyak energi panas dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit listrik (Isfandi, 2021). Adapun cara menghitungnya dengan menggunakan metode *input-output* dituliskan pada persamaan 4.

$$NPHR = \frac{(\text{Konsumsi batubara} + \text{kosumsi sawdust}) \times \text{Nilai kalor bahan bakar}}{\text{Energi listrik total yang dihasilkan} \times 1000} \quad (4)$$

Konsumsi Bahan Bakar = total jumlah bahan bakar yang digunakan (Ton).

Nilai Kalor = Jumlah energi panas ketika pembakaran (kJ/kg atau kCal/kg).

Daya Total = Daya yang dihasilkan pembangkit dalam satuan waktu tertentu (kWh atau MWh).

Fuel Feed Rate (FFR) (Ton/Hour)

FFR adalah laju atau kecepatan dimana bahan bakar diumpankan ke dalam sistem pembakaran dalam satuan waktu tertentu. FFR penting dalam mengoperasikan pembangkit listrik karena mempengaruhi efisiensi pembakaran, *output* energi, dan lain sebagainya. Adapun cara menghitungnya dituliskan pada persamaan 5.

$$\text{FFR} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar}}{\text{Lama Bakar}} \quad (5)$$

Penjelasan:

Lama bakar = Lamanya pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar (*Hour*).

Auxiliary Consumption (%)

Auxiliary Consumption adalah besar energi yang dikonsumsi oleh peralatan pendukung dan sistem yang diperlukan untuk operasi pembangkit, tetapi tidak langsung berkontribusi pada produksi listrik. Peralatan dan sistem ini penting untuk menjaga pembangkit beroperasi dengan aman dan efisien, tetapi apabila performa PLTU tidak optimal maka peralatan pada PLTU akan mengkonsumsi lebih energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, perhitungan *auxiliary consumption* ini sangat penting untuk menghindari penurunan performa PLTU karena konsumsi peralatan listrik yang berlebih (Tampubolon & Dwiyantoro, 2023). Adapun cara menghitungnya dituliskan pada persamaan 6.

$$\text{Auxiliary Consumption} = \frac{\text{Daya konsumsi peralatan listrik}}{\text{Energi total listrik yang dihasilkan}} \times 100\% \quad (6)$$

Daya konsumsi peralatan listrik = Daya yang digunakan oleh peralatan listrik di Pembangkit (kWh)

Green Energy (GJ)

Mengukur seberapa efektif pembangkit listrik mengubah energi *input* (seperti bahan bakar fosil, energi nuklir, atau energi terbarukan) menjadi bentuk *joule*. Adapun cara menghitungnya dituliskan pada persamaan 7.

$$\text{Green Energy} = \text{green energy sawdust} \times \text{GigaJoule} \quad (7)$$

Biaya Bahan Bakar (Rupiah)

adalah salah satu komponen utama dalam biaya operasional pembangkit listrik. Biaya ini sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Adapun cara menghitungnya dituliskan pada persamaan 8.

$$\text{Biaya B. bakar Sawdust} = \text{Konsumsi b. bakar sawdust} \times \text{harga b. bakar sawdust} \quad (8)$$

Harga bahan bakar = harga pembelian bahan bakar *sawdust*, yaitu seharga Rp.741,480 /Metrik Ton.

Penghematan

adalah kunci untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya, yang pada akhirnya dapat menurunkan tarif listrik bagi konsumen.

$$\text{Penghematan} = (\text{Daya listrik dari sawdust} \times \text{harga listrik}) - \text{biaya bahan bakar} \quad (9)$$

Penjelasan:

Harga listrik = harga jual listrik kepada konsumen, yaitu seharga Rp. 1444,70

2. METODE

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di PT. PLN Indonesia *Power* UBP Pangkalan Susu. Perusahaan ini berada di Desa Tanjung Pasir, Kec. Pangkalan Susu, Kab. Langkat, Provinsi Sumatera Utara, dilaksanakan selama 3 hari, tepatnya pada tanggal 15 Februari 2024, 17 Februari 2024, dan 18 Februari 2024.

2.2. Alat dan Bahan

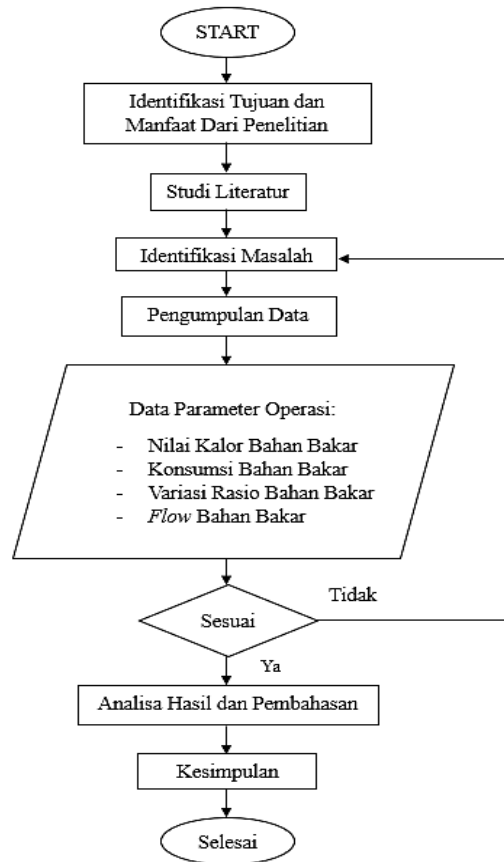
Adapun beberapa peralatan yang digunakan untuk menganalisis variasi rasio *co-firing* batubara dan *sawdust* yaitu alat pelindung diri (APD), perekam suara dan dokumentasi, laboratorium batubara, serta *disc* untuk ambil data di ruang *distributed control system* (DCS). Serta bahan-bahan dalam penelitian ini yaitu menggunakan batubara *low rank coal* dan serbuk gergaji (*sawdust*).

2.3. Metode Pengumpulan Data

1. Persiapan, adalah tahap awal untuk mempersiapkan segala hal, tahap ini mencakup langkah-langkah seperti perencanaan, pengumpulan informasi, identifikasi tujuan dan manfaat dari penelitian.
2. Studi literatur, adalah proses pengumpulan, evaluasi, dan analisis informasi dari berbagai sumber literatur yang relevan dengan topik, tujuannya untuk memahami perkembangan ilmu pengetahuan dan pemikiran yang telah ada sebelumnya.
3. Identifikasi masalah, adalah penentuan arah bidang dan tujuan yang ingin diteliti serta memastikan penelitian tersebut relevan dan berarti dalam bidang yang diteliti, yaitu mengidentifikasi performa PLTU Pangkalan Susu dalam proses variasi rasio *co-firing* batubara dan *sawdust*.
4. Pengumpulan data, adalah proses mengumpulkan informasi atau fakta-fakta yang relevan untuk memenuhi data laporan magang. Data ini dapat berupa angka, fakta, opini, pandangan, ataupun observasi. Adapun data-data yang diambil adalah sebagai berikut:

- Data primer meliputi: Data nilai kalor batubara dan sawdust, data konsumsi bahan bakar, data *coal flow* dan *sawdust flow* berdasarkan tanggal saat *co-firing*, data variasi rasio *co-firing* serta data parameter operasi PLTU.
- Data sekunder mencakup: jurnal ilmiah, buku perpustakaan, serta artikel-artikel dari internet.

2.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2: Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses *Co-firing* di PLTU Pangkalan Susu

Co-firing pada PLTU Pangkalan Susu dilakukan dengan teknik *direct co-firing*, prosesnya dimulai dari batubara yang dibawa tongkang dan *sawdust* dibawa *truck* lalu dikumpulkan di *coal yard* dan dicampur (*blending*) antara kedua bahan bakar ini kemudian dihaluskan secara bersamaan di *mill* menjadi ukuran 200 mesh sebelum dimasukkan ke dalam *bunker boiler* untuk pembakaran. Pencampuran ini menjadi merata sehingga tidak berdampak perubahan nilai kalor bahan bakar yang drastis untuk performa PLTU yang optimal dan stabil, *feeder hopper* sebagai fasilitas penyuplai dan pencampuran biomassa dan batubara. Adapun spesifikasi kedua bahan bakar dan data hasil *co-firing* tertera pada tabel 2 - 4 berikut:

Tabel 2: Spesifikasi Batubara PLTU Pangkalan Susu

<i>Ultimate Analysis</i>		<i>Proximate Analysis</i>	
Data	Nilai	Data	Nilai
Ash	5%	Fixed Carbon	26.99%
C	44.57%	Volatile Matter	34.19%
H	3.18%	Ash	4.48%
O	16.09%	Moisture in Analysis	34.34%
N	0.77%		
S	0.21%		
Moisture	18%		
GCV	4171 kCal/Kg		

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Tabel 3: Spesifikasi *Sawdust* PLTU Pangkalan Susu

<i>Ultimate Analysis</i>		<i>Proximate Analysis</i>	
Data	Nilai	Data	Nilai
Ash	0.94%	<i>Fixed Carbon</i>	12.33%
C	32.94%	<i>Volatile Matter</i>	51.49%
H	3.72%	Ash	0.94%
O	26.36%	<i>Moisture in Analysis</i>	35.42%
N	0.58%		
S	0.04%		
<i>Moisture</i>	35.42%		
GCV	3088 kCal/Kg		

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Tabel 4: Data Hasil *Co-firing* Penelitian PLTU Pangkalan Susu

Parameter	15 Februari 2024	17 Februari 2024	18 Februari 2024
<i>Gross Load</i> (MW)	195	194	193
<i>Capacity Factor</i> (%)	71,94%	71,94%	71,94%
<i>Coal Flow</i> (T/H)	118,800	119,560	120,280
<i>Sawdust Flow</i> (T/H)	1,200	2,400	3,720
Lama Bakar (Hour)	10	10	10
Proporsi <i>Sawdust</i> (%)	1,00%	2,00%	3,00%
Proporsi Batubara (%)	99,00%	98,00%	97,00%
Mill Operasi	4	4	4
Konsumsi Batubara (Ton)	1188,00	1195,60	1202,80
Nilai Kalor Batubara (kCal/kg)	4177,00	4177,00	4177,00
Konsumsi <i>Sawdust</i> (Ton)	12,00	24,00	37,20
Nilai Kalor <i>Sawdust</i> (kCal/kg)	3088	3088	3088
Energi Total <i>Co-firing</i> (MWH)	1402,83	1395,64	1388,44
Energi dari Batubara (MWH)	1392,43	1375,23	1357,41
<i>Green Energy Sawdust</i> (MWH)	10,40	20,41	31,04
Energi Konsumsi Peralatan Listrik (kWh)	12,733	13,91	14,721

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Pembakaran *co-firing* pada PLTU Pangkalan Susu mempunyai interval waktu yang tidak banyak, yaitu hanya 10 jam per-hari. Berdasarkan tabel diatas disimpulkan proses *co-firing* ini maka menghasilkan daya listrik:

1. Hari pertama tanggal 15 Februari 2023 dengan rasio batubara 99% dan *sawdust* 1 %, dan energi total dihasilkan = 1402,83 MWH
 2. Hari kedua tanggal 17 Februari 2023 dengan rasio batubara 98% dan *sawdust* 2 %, dengan energi total dihasilkan = 1395,64 MWH
 3. Hari ketiga tanggal 18 Februari 2023 dengan rasio batubara 97% dan *sawdust* 3 %, dengan energi total dihasilkan = 1388,44 MWH
- Maka total energi listrik dalam proses *co-firing* selama 3 hari dengan variasi rasio batubara dan *sawdust* yaitu 4186,91 MWH

3.2 Performa PLTU berdasarkan NPHR, FFR, Auxiliary Consumption

Tabel 5: NPHR *Co-firing* PLTU Pangkalan Susu

Tanggal	Rasio Batubara (%)	Rasio <i>Sawdust</i> (%)	Nilai Kalor BB dan SW (kCal)	NPHR (kCal/MWH)
15 Februari 2024	99%	1%	4.166,11	3.563,75
17 Februari 2024	98%	2%	4.155,22	3.631,11
18 Februari 2024	97%	3%	4.144,33	3701,25

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Adapun performa PLTU berdasarkan NPHR, yaitu menggunakan persamaan 4 berikut:

$$NPHR = \frac{((\text{Konsumsi batubara} + \text{konsumsi sawdust})) \times \text{Nilai Kalor Bahan Bakar}}{\text{Energi Total Listrik yang Dihasilkan} \times 1000}$$

1. Maka NPHR pada tanggal 15 Februari 2024 dengan rasio batubara sebanyak 99% dan *sawdust* 1 % adalah 3,563 kcal/kwh.

- NPHR pada tanggal 17 Februari 2024 dengan variasi rasio batubara sebanyak 98% dan *sawdust* 2 % adalah 3,631 kcal/kwh.
- NPHR pada tanggal 18 Februari 2024 dengan variasi rasio batubara sebanyak 97% dan *sawdust* 3 % adalah 3,701 kcal/kwh.

Tabel 6: FFR *Co-firing* PLTU Pangkalan Susu

Tanggal	Fuel Feed Rate (Ton/H)		Rasio (%)	
	Batubara	Sawdust	Batubara	Sawdust
15 Februari 2024	118,80	1,2	99%	1%
17 Februari 2024	119,66	2,4	98%	2%
18 Februari 2024	120,28	3,72	97%	3%

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Performa PLTU juga dilihat dengan FFR, yaitu dengan persamaan 5 berikut:

$$FFR = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar}}{\text{Lama Bakar}}$$

- Maka FFR 15 Februari 2024 dengan rasio batubara sebanyak 99% dan *sawdust* 1 % adalah 118,800 Ton/h dan 1,200 Ton/h Total FFR pada tanggal 15 Februari 2024 yaitu: 120,00 Ton/h
- FFR pada 17 Februari 2024 dengan rasio batubara sebanyak 98% dan *sawdust* 2 % adalah 119,560 Ton/h dan 2,400 Ton/h Total FFR pada tanggal 17 Februari 2024 yaitu: 121,96 Ton/h
- FFR pada 18 Februari 2024 dengan rasio batubara sebanyak 97% dan *sawdust* 3 % adalah 120,28 Ton/h dan 3,6084 Ton/h Total FFR pada tanggal 18 Februari 2024 yaitu: 124,00 Ton/h.

Tabel 7: Auxiliary Consumption *Co-firing* PLTU Pangkalan Susu

Tanggal	Rasio (%)		Auxiliary Consumption (%)
	Batubara	Sawdust	
15 Februari 2024	99%	1%	0,009
17 Februari 2024	98%	2%	0,010
18 Februari 2024	97%	3%	0,011

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Perhitungan daya yang dipakai untuk peralatan PLTU juga mempengaruhi performa PLTU dengan persamaan 6 berikut:

$$\text{Auxiliary Consumption} = \frac{\text{Daya konsumsi peralatan listrik}}{\text{Energi total listrik yang dihasilkan}} \times 100\%$$

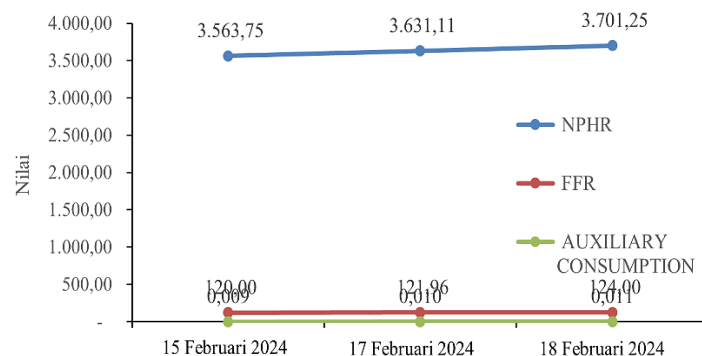
- Maka *Auxiliary Consumption* pada 15 Februari 2024 dengan rasio batubara 99% dan *sawdust* 1 % adalah 0,009%
- Auxiliary Consumption* pada 17 Februari 2024 dengan rasio batubara 98% dan *sawdust* 2 % adalah 0,010%
- Auxiliary Consumption* pada 18 Februari 2024 dengan rasio batubara 97% dan *sawdust* 3 % adalah 0,011%

3.3. Perbandingan Yang Optimal

Tabel 8: Nilai Perbandingan yang Optimal Pada Variasi Rasio *Co-Firing*

Tanggal	Rasio (%)		NPHR (kCal/MWH)	FFR (Ton/H)		Auxiliary Consumption (%)
	Batubara	Sawdust		Batubara	Sawdust	
15 Februari 2024	99%	1%	3.563,75	118,80	1,20	0,009
17 Februari 2024	98%	2%	3.631,11	119,56	2,40	0,010
18 Februari 2024	97%	3%	3701,249	120,28	3,72	0,011

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu



Gambar 3: Grafik Nilai Perbandingan Optimal Variasi Rasio *Co-firing*

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat dibandingkan bahwa yang paling optimal adalah:

- NPHR, merupakan jumlah energi panas yang dibutuhkan dalam pembangkit untuk menghasilkan suatu energi listrik, oleh karena itu semakin rendah NPHR maka akan semakin tinggi juga energi listrik yang dihasilkan. Dengan melihat grafik diatas, NPHR yang optimal adalah pada saat proses *co-firing* tanggal 15 Februari 2024 dengan rasio batubara 99% dan *sawdust* 1% menghasilkan NPHR sebesar 3.563,7 kCal/MWH. Nilai NPHR juga dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar, rasio inilah yang optimal untuk performa PLTU karena tidak menaikkan nilai NPHR dan juga tidak menurunkan daya yang dihasilkan, serta *gross load* pada PLTU juga berada dalam posisi tetap.
- FFR pada gambar grafik diatas menunjukkan semakin meningkatnya rasio *sawdust* sebagai bahan bakar, maka nilai FFR juga akan semakin meningkat. Hal ini akan merugikan PLTU karena performa akan turun dan konsumsi bahan bakar juga akan semakin bertambah, serta proses pembakarannya akan semakin lama. Hal ini berkaitan juga dengan nilai kalor bahan bakar saat proses *co-firing*, oleh karena itu FFR yang optimal terlihat pada saat *co-firing* tanggal 15 Februari 2024 yaitu sebesar 120,00 Ton/h.
- Auxiliary Consumption* yang paling optimal juga terlihat pada rendahnya penggunaan daya listrik untuk peralatan PLTU. Apabila semakin tinggi penggunaan listrik untuk PLTU itu sendiri, maka daya listrik yang dihasilkan untuk masyarakat juga akan semakin rendah. Oleh karena itu, nilai *auxiliary consumption* yang paling optimal pada saat *co-firing* tanggal 15 Februari 2024 yaitu sebesar 12733 kwh atau sebesar 0,009% dari 100% listrik yang dihasilkan.

3.4. Pengaruh Program *Co-firing* Terhadap Masyarakat dan PLTU

Tabel 9: Pengaruh Program *Co-firing* Terhadap Masyarakat dan PLTU

Tanggal	Energi Total <i>Co-firing</i> (kWh)	Green Energy (GJ)	Biaya Bahan Bakar (Rp)	Penghematan (Rp)
15 Februari 2024	10,398	37,43	8897,760	6124,293
17 Februari 2024	20,409	73,47	17795,520	11688,748
18 Februari 2024	31,036	111,73	27583,056	17255,295
Total	61,843	222,64	54276,336	35068,335

Sumber: PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Adapun perhitungannya seperti dibawah ini:

- Perhitungan *green energy* terdapat pada persamaan (7) berikut:

$$\text{Green Energy} = \text{green energy sawdust} \times \text{GigaJoule}$$

$$\text{Green Energy} = 1 \text{ kWh} = 0,0036 \text{ GJ}$$

Selama 3 hari penelitian

$$= 61.843 \text{ kWh} \times 0,0036 \text{ GJ}$$

$$= 222,64 \text{ GJ}$$

- Perhitungan untuk biaya bahan bakar terdapat pada persamaan (8):

$$\text{Biaya B. bakar Sawdust} = \text{Konsumsi b. bakar sawdust} \times \text{harga b. bakar sawdust}$$

$$= 73,20 \text{ Ton} \times \text{Rp. } 741,480$$

$$= \text{Rp. } 54.276.336$$

- Perhitungan penghematan biaya menggunakan persamaan 9 berikut:

$$\text{Penghematan} = (\text{Daya listrik dari sawdust} \times \text{harga listrik}) - \text{biaya b. bakar sawdust}$$

$$= (61.843 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.444,70/\text{kWh}) - \text{Rp. } 54.276.336$$

$$= \text{Rp. } 35.068.335$$

Dampak lingkungan yang dihasilkan adalah penggunaan *green energy* selama 3 hari penelitian sebesar 222,64 GJ dengan *sawdust* sebanyak 73,20 Ton yang setara dengan penghematan biaya sebesar Rp.35.068.335, serta membantu ekonomi masyarakat yang menjual limbah *sawdust* sebesar Rp. 54.276.336. Tetapi semakin besar *green energy* yang digunakan maka akan semakin besar juga penghematan yang didapatkan, performa PLTU akan semakin menurun, dikarenakan besarnya biomassa yang digunakan akan mengakibatkan penurunan nilai kalor serta kenaikan NPHR, FFR, serta *Auxiliary Consumption*.

4. KESIMPULAN

Co-firing adalah pembakaran bahan bakar utama dengan bahan bakar alternatif secara bersamaan dengan kombinasi rasio yang sesuai. Proses *co-firing* di Pangkalan Susu dilakukan secara *direct co-firing* yaitu batubara dan biomassa dicampur secara bersamaan. Hasil proses *co-firing* yaitu terjadi penurunan energi total yang dihasilkan dari 1402,83 MWH menjadi 1388,44 MWH. *Co-firing* dapat menurunkan performa PLTU apabila dilakukan tidak sesuai dan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan PLTU. Adapun performa PLTU pada laporan akhir ini dilihat dari nilai NPHR, FFR, serta *auxiliary consumption* yang terjadi kenaikan yaitu NPHR dari 3,563 kcal/kwh menjadi 3,701 kCal/kWh, nilai FFR dari 120,00 Ton/h menjadi 124,00 Ton/h, serta *auxiliary consumption* dari 0,009% menjadi 0,011%, Nilai perbandingan yang optimal berdasarkan ketiga nilai tersebut yaitu terjadi pada saat *co-firing* pada tanggal 15 Februari 2024 yaitu dengan rasio batubara 99% dan *sawdust* 1%, serta pengaruh *co-firing* kepada masyarakat dan PLTU Pangkalan Susu yang menghasilkan penggunaan *sawdust* sebanyak 73,20 Ton yang setara dengan penghematan biaya sebesar Rp.35.068.335, serta membantu ekonomi masyarakat yang menjual limbah *sawdust* sebesar Rp. 54.276.336, serta membantu masyarakat dalam mengurangi limbah serbuk gergaji dan segi ekonomi karena limbah ini juga didapatkan dari pengrajin kayu, dan banyak pengaruh lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa penulis dapat menyelesaikan jurnal ini, serta terima kasih untuk untuk Ibu Prof. Arridina Susana Silitonga, S.T., M.Eng. Ph.D yang telah memberi masukan dan dukungan atas penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, A. D. and L. Mustakim (2023). "Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Pada Pltu Batubara Dengan Beberapa Bahan Bakar Alternatif Sebagai Upaya Bauran Energi Baru Terbarukan." *Martabe: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 6(1): 98-104.
- Gaussian. (2020). Simulation of Dispersion Potential and Fatality Percentage of SO₂ and CO₂ Flue Gas from Combustion of Coal in West Lombok Power Plant using Gaussian Model.
- Herlambang, Y. (2020). Laporan Kerja Praktek Lapangan Efisiensi PLTU Pangkalan Susu Unit 3 dan 4 (2x200 MW).
- Ilham, M. F., & Suedy, S. W. A. (2022). Effect of Cofiring Using Sawdust on Steam Coal Power Plant Heat Rate Value. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(2), 121-127.
- Isfandi, I. (2021). Analisa Heat Rate Pada Sistem Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Unit 3 Pltu Jeranjang Universitas Mataram].
- Marbun, A. G. (2021). Sistem Pembakaran (Bahan Bakar Dan Udara). PLTU SUMUT 2 Pangkalan Susu (2x200 MW).
- Maridjo, I. Y., & Angga, R. (2019). Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Premium, Peralite Dan Pertamina Terhadap Kinerja Motor 4 Tak. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 73-78.
- Nur Cahyo, A. A. (2020). Co Firing Pltu Batubara Dengan Biomass.
- Pertiwi, I. A. (2024). Peningkatan Nilai Kalor Bahan Bakar Pelet Dari Limbah Serbuk Gergaji Melalui Penggunaan Asam Asetat Pada Proses Torefaksi Basah Universitas Malikussaleh].
- PLN Puslitbang, D. S., Hamdan Hartono. (2021). Analisis Karakteristik Performance Test Co-Firing Sekam Padi Pltu Pangkalan Susu #1.
- Safitra, A. G., & Nugroho, S. (2020). Analisa Daya Hisap Id Fan Pada Pltu Kapasitas 400 Mw. *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*,
- Situmorang, V. T. (2021). Analisa Efisiensi Termal Dan Flame Temperature Water Tube Boiler Berdasarkan Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Gas Lpg Untuk Memproduksi Superheated Steam Politeknik Negeri Sriwijaya].
- Tambunan, H. B. (2020). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Deepublish.
- Tampubolon, G. N., & Dwiyantoro, B. A. (2023). Studi Pengaruh Rasio Co-firing Bahan Bakar Batubara dan Biomassa Tertorefaksi Terhadap Performa Boiler. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), B178-B183.
- Wahyuni, W. (2020). Analisis Pembakaran Pada Ketel Uap CFB Kapasitas 35 Ton/Jam Uap di PLTU Soci Mas.
- Wibowo, S. A., & Windarta, J. (2020). Pemanfaatan Batubara Kalori Rendah Pada PLTU Untuk Menurunkan Biaya Bahan Bakar Produksi. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 100-110.