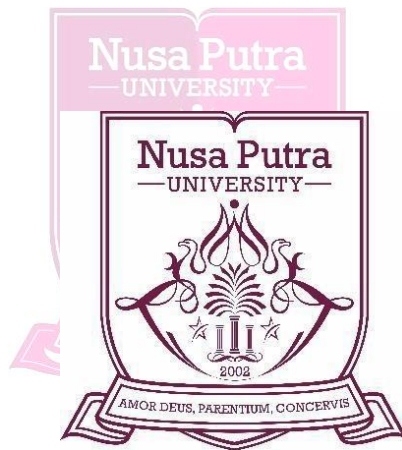


**ANALISIS BAHAN BAKAR *CO-FIRING* PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP DENGAN KAPASITAS 3×350 MW**

SKRIPSI

CAHYA LAXA EKA PUTRA

20200120030



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
JUNI 2024**

**ANALISIS BAHAN BAKAR CO-FIRING PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP DENGAN KAPASITAS 3×350 MW**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh Gelar Sarjana
Teknik Elektro*

CAHYA LAXA EKA PUTRA



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
JUNI 2024**

PERNYATAAN ORISINALITAS

JUDUL : ANALISIS BAHAN BAKAR *CO-FIRING* PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN
KAPASITAS 3×350 MW
NAMA : CAHYA LAXA EKA PUTRA
NIM : 20200120030

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa laporan skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti-bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik Elektro saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.

Sukabumi, 7 Juni 2024

Penulis



CAHYA LAXA EKA PUTRA

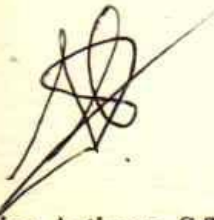
PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISIS BAHAN BAKAR *CO-FIRING* PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN
KAPASITAS 3×350 MW
NAMA : CAHYA LAXA EKA PUTRA
NIM : 20200120030

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, 7 Juni 2024

Pembimbing I



Ir. Mafina Artiyasa, S.T., M.T. IPM.

NIDN. 0403127308

Pembimbing II

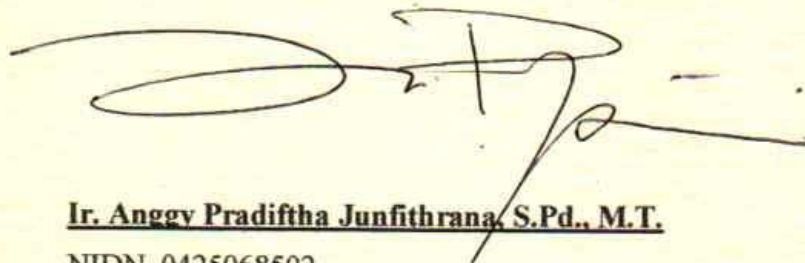


Panji Narputro, S.T., M.T.

NIDN.

Mengetahui,

Plt. Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T.

NIDN. 0425068502

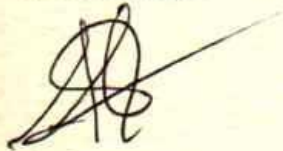
PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISIS BAHAN BAKAR *CO-FIRING* PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN
KAPASITAS 3×350 MW
NAMA : CAHYA LAXA EKA PUTRA
NIM : 20200120030

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang
Skripsi tanggal 7 Juni 2024. Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari
segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Sukabumi, 7 Juni 2024

Pembimbing I



Ir. Marina Artivasa, S.T., M.T. IPM.
NIDN. 0403127308

Pembimbing II



Panji Narputro, S.T., M.T.
NIDN.

Ketua Penguji



Ir. Anang Suryana, S.Pd., M. Si
NIDN. 0407098009

Plt. Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T.
NIDN. 0425068502

Dekan Fakultas Teknik, Komputer dan Desain

Ir. Paikun, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng.
NIDN. 0402037401

HALAMAN PERSEMBAHAN



Skripsi ini saya tujukan kepada:

Kedua orang tua tersayang, keluarga dan orang-orang terdekatku.

ABSTRAK

Pada era industri 4.0 ini kebutuhan energi sangat penting khususnya energi listrik. Semua peralatan rumah tangga, perkantoran, dan industri membutuhkan energi listrik. Hal tersebut memicu adanya akselerasi pengembangan kapasitas pada energi baru terbarukan. Salah satu energi tersebut yang berpotensi dikembangkan di Indonesia adalah biomassa untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Kombinasi antara pembakaran batu bara dan biomassa merupakan alternatif yang layak untuk mengurangi emisi gas buang tanpa mengganggu efisiensi. Metode pembakaran tersebut dilakukan dengan cara *co-firing*. *Co-firing* merupakan pembakaran dua jenis material yang berbeda pada saat bersamaan dan mengkombinasikannya dengan bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi *co-firing* bahan bakar di PLTU berkapasitas 3×350 MW sebagai upaya dalam mengurangi pemakaian energi fosil. Metode penelitian yang digunakan yaitu pendekatan kuantitatif dengan studi kasus sebagai fokus utama. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *co-firing* di PLTU berkapasitas 3×350 MW terdapat kelebihan dan kekurangan pada metode *co-firing*, dari segi ekonomi biaya produksi menguntungkan dan tidak mengganggu kehandalan produksi listrik pada sistem pembangkit. Akan tetapi kekurangan dari metode *co-firing* yaitu terdapat kenaikan nilai emisi pada SO_2 (oksida sulfur) senilai 28 % dan kenaikan emisi pada CO (karbon monoksida) senilai 5 %.

Kata Kunci: Batu Bara, Co-firing, Gas Buang, PLTU, Serbuk kayu.

ABSTRACT

In the industrial era 4.0, energy needs are very important, especially electrical energy. All household, office and industrial equipment requires electrical energy. This has triggered an acceleration in capacity development in new and renewable energy. One of the energies that has the potential to be developed in Indonesia is biomass to be used as fuel. The combination of burning coal and biomass is a viable alternative to reduce emissions without compromising efficiency. Co-firing is burning two different types of materials at the same time and combining them with cheaper renewable alternative fuels with a certain ratio combination so that it can reduce coal use and reduce the basic cost of electricity production. Biomass is mixed into the coal bunker. The fuel mixture is flowed to the combustion chamber or furnace. The biomass used in this research is sawdust (wood powder). The sawdust is collected from several locations, and then sent to the PLTU 3×350 MW for mixing before being fed to the coal bunker. The research method used is a qualitative approach with case studies as the main focus. The results of this study show that co-firing in coal-fired power plants with a capacity of 3×350 MW has advantages and disadvantages in the co-firing method, in terms of economy, production costs are advantageous and do not interfere with the reliability of electricity production in the power generation system. However, the disadvantage of the co-firing method is that there is an increase in emission values at SO₂ (sulfur oxide) worth 28 % and an increase in emissions at CO (carbon monoxide) worth 5 %.

Keywords: Coal, Co-firing, Flue Gas, PLTU, Wood dust.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat, dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW”. Sehubungan dengan penyusunan dan terlaksananya skripsi ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Kurniawan, ST., M.Si., MM. Rektor Universitas Nusa Putra Sukabumi
2. Ibu Ir. Marina Artiyasa S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama proses pembuatan laporan skripsi.
3. Bapak Panji Narputro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama proses pembuatan laporan skripsi.
4. Ir. Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T. Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Nusa Putra.
5. Orang tua dan semua keluarga di Kota Batu Jawa Timur.
6. Risa Kholifaturrohmah selaku *support system* dalam mengerjakan laporan skripsi.
7. Seluruh pihak baik yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa masih jauh dari kata sempurna dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap masukan dan kritik dari pembaca dalam rangka penyempurnaan tugas akhir ini.

Sukabumi, 7 Juni 2024

Cahya Laxa Eka Putra

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Cahya Laxa Eka Putra

NIM : 20200120030

Program Studi : Teknik Elektro

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"ANALISIS BAHAN BAKAR CO-FIRING PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN KAPASITAS 3×350 MW"

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat : Sukabumi

Pada Tanggal : 7 Juni 2024

Yang Menyatakan



Cahya Laxa Eka Putra
20200120030

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
PENGESAHAN SKRIPSI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terkait.....	4
2.2. Kesimpulan <i>research</i> terkait	6
2.3. Dasar Produksi Listrik di PLTU	6
2.4. Studi Literatur	9
2.5. Teori Pembakaran	11
2.6. <i>Boiler</i>	11
2.7. <i>Combustion system of Boiler</i>	15
2.8. <i>Coal Pulverizing System of Boiler</i>	15
2.9 Spesifikasi Boiler PLTU 3 × 350 MW	16
2.10. Sistem Pembakaran <i>Co-firing</i>	17
2.11. <i>Performance Test Co-firing</i>	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Alur Penelitian	23
3.2 Teknik Pengumpulan Data.....	24
3.3 Perhitungan Ekonomi Pembangkit	24
3.4 Perhitungan <i>Heat Rate</i>	24
3.5 Perhitungan <i>Specific Fuel Consumption</i>	25
3.6 <i>Performance Test Co-firing</i>	25
3.7 Formula persentase emisi	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Data Produksi Listrik Bruto.....	26
4.2 Perbandingan Harga Bahan Bakar Per Ton	26
4.3 Data Pemakaian <i>Sawdust Co-Firing</i>	27
4.4 Data Pemakaian Batu Bara.....	28
4.5 Data Kalori Bahan Bakar.....	28
4.6 Perhitungan Ekonomi Pembangkit	28
4.7 Perhitungan <i>heat rate</i>	28
4.8. Perbandingan <i>Specific Fuel Consumption</i> dan Produksi per kWh.....	29
4.9. Perhitungan biaya produksi listrik per kWh	30
4.10. <i>Performance Test Co-Firing</i>	30
BAB V PENUTUP	32
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Terkait.....	4
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Boiler</i> PLTU 3 × 350 MW.....	16
Tabel 4.1 Data Produksi Listrik.....	26
Tabel 4.2 Data Pemakaian Bahan Bakar beserta Kalori.....	27
Tabel 4.3 Data Emisi Sebelum dan Sesudah Co-Firing.....	30



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambaran Umum Peralatan Utama PLTU	7
Gambar 2.2 Siklus Bahan Bakar Pada PLTU	7
Gambar 2.3 Metode <i>Co-Firing</i> Batubara Dengan Biomasa	10
Gambar 2.4 Segitiga pembakaran.....	11
Gambar 2.5 Prinsip Kerja Dari <i>Natural Circulation</i>	12
Gambar 2.6 <i>Damper</i> (Sudut Atur)	13
Gambar 2.7 Sistem Udara Dan <i>Balance Draft</i> Pada <i>Boiler</i>	13
Gambar 2.8 Tipe Pembakaran Dengan Empat Sudut	14
Gambar 2.9 <i>Combution System of Boiler</i>	15
Gambar 2.10 <i>Pulverizing System of Boiler</i>	16
Gambar 2.11 <i>Direct Co-Firing</i>	17
Gambar 2.12 <i>Continous Emission Monitoring System</i> (CEMS)	19
Gambar 2.13 Baku Mutu Emisi.....	21
Gambar 2.14 Parameter ISPU	22
Gambar 2.15 Kategori ISPU.....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1 Perbandingan Harga Bahan Bakar per ton.....	27



BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan dari judul penelitian penulis yaitu “Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW”.

1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim di bumi banyak dipengaruhi oleh efek emisi gas industri, salah satunya yaitu industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hal tersebut menjadi tantangan dan menjadikan banyak negara berusaha meningkatkan penggunaan energi terbarukan untuk produksi Listrik. Salah satu upayanya yaitu dengan memanfaatkan bahan bakar dengan energi biomassa untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti batu bara. Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, diperlukan metode yang tepat untuk pengolahan bahan bakar produksi listrik [1].

Co-firing merupakan metode penambahan biomassa sebagai bahan bakar pengganti parsial ke dalam boiler PLTU batubara. *Co-firing* dijadikan sebagai salah satu *green booster* dalam program percepatan peningkatan penggunaan energi terbarukan dengan minimum investasi dikarenakan menggunakan fasilitas yang ada pada PLTU [2].

Penelitian yang membahas terkait *Co-Firing* pada PLTU sudah banyak dilakukan, diantaranya berjudul “Pengaruh *Co-Firing* Biomassa Terhadap Efisiensi *Boiler* PLTU Batubara” pada tahun 2021 [3]. Pada penelitian tersebut bertujuan untuk pencegahan peningkatan emisi gas rumah kaca mendorong upaya peningkatan penggunaan teknologi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Berdasarkan permasalahan yang ada maka, pada penelitian ini akan membahas perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co-firing* dari segi ekonomi, efisiensi, dan emisi gas buang.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang ada, maka dapat dirumuskan permasalahan yang dihadapi yaitu:

1. Bagaimana perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co-firing* dari segi biaya bahan bakar dan biaya listrik per kWh?
2. Bagaimana perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co-firing* dari segi *heat rate* dan *specific fuel consumption*?
3. Bagaimana perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co-firing* dari emisi gas buang.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sebelum dan sesudah menggunakan *co-firing*, diantaranya:

1. Mengetahui implikasi perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co firing* dari segi biaya bahan bakar dan biaya listrik per kWh.
2. Mengetahui hasil efisiensi perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan *co-firing* dari segi *heat rate* dan *specific fuel consumption*.
3. Mengetahui perbandingan emisi gas buang sebelum dan sesudah *co-firing*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini, diberikan ruang lingkup yang jelas agar pembahasan lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Beberapa ruang lingkup penelitian tersebut diantaranya:

1. Penelitian ini mencakup PLTU berkapasitas 3×350 MW, termasuk kapasitas produksi dan teknologi yang digunakan.
2. Penelitian ini dilakukan di Unit 1 PLTU berkapasitas 3×350 MW Pada tanggal 14 Desember 2023 yaitu sebelum *co-firing* dan pada tanggal 31 Desember 2023 setelah *co firing*. Dengan setiap daya produksi berbeda dikarenakan sesuai permintaan beban PT PLN (Persero) P3B-Penyuluran dan Pusat Pengatur Beban.
3. Studi kasus *co-firing* di PLTU berkapasitas 3×350 MW dengan melakukan analisis tentang proses implementasi dan hasil yang dicapai.

1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi ini akan terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, implementasi *co-firing* di PLTU 3×350 MW, analisis hasil, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka. Penelitian ini terbagi kedalam 5 bab, isi dari setiap bab tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Pada bab ini menyajikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan membahas tentang teknologi yang digunakan pada PLTU 3×350 MW.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW beserta Formula Rumus yang digunakan.

BAB IV: HASIL & PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pembahasan sebelum dan sesudah *co-firing* dari segi ekonomi pembangkit, analisis output, dan pengaruh terhadap emisi.

BAB V: KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil literatur yang telah dipelajari, untuk membuat sistem identifikasi berdasarkan Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW.

Dengan Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi di sektor pembangkit listrik tenaga uap.



BAB V

PENUTUP

Pada skripsi penulis yang berjudul “Analisis Bahan Bakar *Co-Firing* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Kapasitas 3×350 MW” terdapat beberapa Kesimpulan yang terdiri dari aspek ekonomi, aspek efisiensi dan aspek lingkungan.

1.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Aspek ekonomi sebelum dilakukan *co-firing* yaitu Penjualan Energi Listrik ke PT. PLN (Persero) P3B tanggal 14 Desember 2023 (sebelum *co-firing*) pada PLTU 3×350 MW dengan total Daya sebesar 6.686.223 kWh membutuhkan biaya bahan bakar produksi per hari sebesar Rp. 4.253.952.000. Biaya produksi listrik menggunakan 100% Batu bara pada tanggal 14 Desember 2023 (sebelum *co-firing*) dengan beban 6.686.223 kWh sebesar Rp. 631/kWh. Aspek ekonomi sesudah dilakukan *co-firing* Penjualan Energi Listrik ke PT. PLN (Persero) P3B Pada tanggal 31 Desember 2023 (sesudah *co firing*) pada PLTU 3×350 MW total Daya sebesar 6.604.007 kWh membutuhkan biaya bahan bakar produksi per hari sebesar Rp.4.087.291.200. Biaya produksi listrik menggunakan 95% Batu bara dan 5% serbuk kayu pada tanggal 31 Desember 2023 (sesudah *co firing*) dengan beban 6.604.007 kWh sebesar Rp.593/ kWh.

2. Analisa efisiensi sebelum dan sesudah menerapkan *co firing* dari segi *heat rate* dan *specific fuel consumption*.

Pada tanggal 14 Desember 2023 sebelum *co-firing* dari hasil perhitungan mengindikasikan bahwa untuk membangkitkan daya listrik sebesar 1 kWh maka dibutuhkan energi kalor dari batubara sebesar 3.220 kCal/kWh.

Pada tanggal 31 Desember 2023 sesudah *co-firing* dari hasil perhitungan mengindikasikan bahwa untuk membangkitkan daya listrik sebesar 1 kWh maka dibutuhkan energi kalor dari *co-firing* sebesar 2.953 kCal/kWh.

Analisa efisiensi sebelum dan sesudah menerapkan *co firing* dari segi *Specific Fuel Consumption*

Nilai *Specific Fuel Consumption* pada tanggal 14 Desember 2023 sebelum *co firing* dengan beban 275.166 KWh/Jam sebesar $0,68 \frac{kg}{kWh}$

Nilai *Specific Fuel Consumption* pada tanggal 31 Desember 2023 setelah *co-firing* dengan beban 275.166 KWh/Jam sebesar $0,64 \frac{kg}{kWh}$

3. Metode *co-firing* sebagai upaya menurunkan emisi gas buang terdapat kelemahan / kurang maksimal , dikarenakan terdapat kenaikan nilai emisi pada SO₂ (oksida sulfur) senilai 56,46 mg/m³ dan kenaikan emisi pada CO (karbon monoksida) senilai 10,19 mg/m³ .Akan tetapi segi kelebihan dari *co-firing* adanya penurunan pada nilai dust (debu) 2,91 mg/m³, penurunan NOx (mono-nitrogen oksida) senilai 69,66 mg/m³ , penurunan Hg (hydrargyrum merkuri) senilai 0,0114 mg/m³

1.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh, saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah melakukan penelitian ketika produksi listrik harian sebelum dan sesudah *co-firing* sama, hal tersebut akan mendapatkan nilai biaya produksi, nilai efisiensi, dan nilai emisi gas buang yang lebih detail dan spesifik antara sebelum dan sesudah *co-firing*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. N. Palupi, S. Sundari, M. I. Syahtaria, and L. Sianipar, “Analisis Dampak Lingkungan dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-firing Biomassa dan Batu bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan,” *El-Mal J. Kaji. Ekon. Bisnis Islam*, vol. 5, no. 3, pp. 1627–1635, 2024, doi: 10.47467/elmal.v5i3.781.
- [2] Y. C. Dwiaji, “Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ,” *J. Appl. Mech. Eng. Renew. Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 7–15, 2023, doi: 10.52158/jamere.v3i1.445.
- [3] PT. PLN (PERSERO), “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.,” *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga List. 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [4] “Pembangkit Listrik Tenaga Uap: Prinsip dan Praktek” Penulis: Prof. Dr. Ir.Sutomo, M.T. Penerbit: Erlangga Tahun Terbit: 2018
- [5] Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh Co-Firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTUBatubara. *Kilat*, 11(1), 21–31. <https://doi.org/10.33322/kilat.v11i1.1553>.
- [6] “Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy” Fefria Tanbar , Sahrijal Purba , Agus Salim Samsudin , Eko Supriyanto , Indra A. Aditya PT. PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistikan
- [7] Buku Boiler PLTU Pelabuhan Ratu, Modul Training Boiler 9SEC-CHDOC) Tim Penyusun Indonesia Power & Cogindo PT Indonesia Power UBOH PLTU Jawa Barat 2 Pelabuhan Ratu 2012.
- [8] M. Farras Ilham and N. Sinaga, “Pengaruh Cofiring Menggunakan Serbuk Gergaji Terhadap Emisi Gas Buang di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara,” *Rekayasa Energi Manufaktur) J. |*, vol. 7, no. 2, pp. 2528–3723,
- [9] Z. Arifin, V. F. S. Insani, M. Idris, K. R. Hadiyati, Z. Anugia, and D. Irianto, “Techno-Economic Analysis of Co-firing for Pulverized Coal Boilers Power Plant in Indonesia,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 12, no. 2, pp. 261–269, 2023, doi: 10.14710/ijred.2023.48102.

- [10] S. F. Maharani, R. H. E. Handayani, and Syarifuddin, "Analisis Pengaturan Kerja Coal Mill a Unit 2 Terhadap Potensi Self Combustion Batubara Pada Pltu Keban Agung 2 X 135 Mw Pt Chd Lahat, Sumatera Selatan," *Jp*, vol. 2, no. 4, pp. 53–61, 2018.
- [11] A. Syarief, W. S. Nugroho, and A. Nugraha, "Analisa Unjuk Kerja Induced Draft Fan Pltu Asam-Asam Unit 3 Dan 4," *Info-Teknik*, vol. 21, no. 2, p. 185, 2021, doi: 10.20527/infotek.v21i2.10053.
- [12] Arisandi, G. F., & Putra, A. B. K. (2023). Simulasi Cycle Tempo 5.0 Dampak Variasi Rasio Co-Firing Batubara dan Biomassa Jenis Tongkol Jagung terhadap Performa PLTU 400 MW. *Jurnal Teknik/Jurnal Teknik ITS*, 12(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i2.123291>.
- [13] Yudisaputro, H. (2023, April 13). *BerbagiEnergi*. Berbagi Energi. <https://berbagienergi.com/>
- [14] Yudisaputro, H. (2015, October 19). Specific fuel Consumption | BerbagiEnergi. *BerbagiEnergi*. <https://berbagienergi.com/2015/03/22/spesific-fuel-consumption/>
- [15] Microsoft Excel Komputer CBM 1. Januari 2024 (Laporan Pengusahaan PLTU Palabuhanratu)
- [16] PERMEN LHK NO. P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019
- [17] Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, "Grafik Harga Acuan Mineral dan Batubara." Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2023.
- [18] Ak. (n.d.). PORTAL DIREKTORAT PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DITJEN PPKL KLHK. <https://ditppu.menlhk.go.id/>
- [19] Silalahi, D. F., Gunawan, D., Wahyuni, E., Dipayana, G. F., Hardhi, M., Winofa, N. C., Ramadhan, R. A., & Hidayat, T. (2022). Indonesia Post-Pandemic Outlook: Strategy towards Net-Zero Emissions by 2060 from the Renewables and Carbon-Neutral Energy Perspectives. In *Penerbit BRIN eBooks*. <https://doi.org/10.55981/brin.562>
- [20] Sedki, O. (n.d.). *Online chart & graph maker* | LiveGap. LiveGap Charts. <https://charts.livegap.com/>

- [21] "Study on the Efficiency Improvement of Steam Power Plant in Pelabuhan Ratu" Penulis: Tim Peneliti PLN Tahun Terbit: 2021 Institusi: PLN (Perusahaan Listrik Negara)
- [22] Hardjana, A. K. (2010). POTENSI BIOMASSA DAN KARBON PADA HUTAN TANAMAN ACACIA MANGIUM DI HTI PT. SURYA HUTANI JAYA, KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 7(4), 237–249.



