

ANALISIS PENGARUH *CO-FIRING* MENGGUNAKAN KAYU SENGON TERHADAP PEMBAKARAN PADA BOILER

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2025**

ABSTRAK

Maulana Ibnu Atho’atillah. Dosen Pembimbing: Ir.H. Margianto, M.T. dan Nur Robbi, S.T., M.T. 2025. “Analisis Pengaruh *Co-firing* Menggunakan Kayu Sengon Terhadap Pembakaran Pada Boiler”. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *co-firing* antara batubara bitumen dan biomassa kayu sengon terhadap performa pembakaran pada boiler. *Co-firing* merupakan metode pencampuran dua jenis bahan bakar yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mengurangi emisi gas rumah kaca. Percobaan dilakukan dengan mencampurkan 80% batubara bitumen dan 20% serbuk kayu sengon, lalu dilakukan pengujian secara laboratorium untuk menghitung parameter pembakaran seperti nilai kalor (HHV dan LHV), kebutuhan udara teoritis, air-fuel ratio, kesetimbangan panas, dan efisiensi total boiler. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan kayu sengon sebagai biomassa dalam metode *co-firing* memberikan pengaruh terhadap efisiensi boiler. Meskipun nilai efisiensi sedikit menurun dibandingkan pembakaran 100% batubara bitumen, metode ini tetap memiliki keunggulan dalam hal potensi pengurangan emisi dan pemanfaatan limbah biomassa lokal. Penambahan alat bantu seperti *air heater* juga menunjukkan peningkatan efisiensi termal secara signifikan. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan *co-firing* kayu sengon sebagai alternatif bahan bakar ramah lingkungan yang mendukung transisi energi berkelanjutan.

Kata Kunci: *Co-firing, Kayu Sengon, Batubara Bitumen, Efisiensi Boiler, Biomassa*

ABSTRACT

Maulana Ibnu Atho'atillah. Supervisors: Ir.H. Margianto, M.T. dan Nur Robbi, S.T., M.T. 2025. *“Analysis of the Effect of Co-firing Using Albizia Wood on Combustion In Boilers.” Undergraduate Thesis. Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang.*

This study aims to analyze the effect of co-firing between bituminous coal and albizia wood biomass on boiler combustion performance. Co-firing is a method of mixing two types of fuel intended to reduce reliance on fossil fuels and lower greenhouse gas emissions. Experiments were conducted by mixing 80% bituminous coal and 20% albizia wood sawdust, followed by laboratory testing to determine combustion parameters such as heating values (HHV and LHV), theoretical air requirement, air-fuel ratio, heat balance, and total boiler efficiency. The analysis shows that using sengon wood biomass in co-firing affects boiler efficiency. Although the efficiency slightly decreases compared to 100% coal combustion, this method still offers advantages in emission reduction and utilization of local biomass waste. The use of additional equipment such as air heaters significantly improves thermal efficiency. This research recommends co-firing with sengon wood as an environmentally friendly fuel alternative that supports sustainable energy transitions.

Keywords: Co-firing, Albizia Wood, Bituminous Coal, Boiler Efficiency, Biomass

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar fosil, seperti batubara, telah menjadi salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara. Upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sangat penting dalam konteks perubahan iklim yang semakin mendesak. Salah satu solusi yang mulai diperkenalkan adalah teknologi *co-firing*, yang menggabungkan bahan bakar fosil dengan bahan bakar biomassa kayu sengon.

Kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), salah satu jenis pohon cepat tumbuh, memiliki potensi sebagai biomassa yang dapat digunakan dalam proses *co-firing* untuk menggantikan sebagian bahan bakar fosil pada pembakaran boiler. Kayu sengon dikenal memiliki kandungan energi yang relatif tinggi, menjadikannya bahan bakar alternatif yang potensial untuk meningkatkan keberlanjutan operasional PLTU. Namun, untuk memaksimalkan potensi kayu sengon dalam *co-firing*, diperlukan analisis yang mendalam mengenai dampaknya terhadap proses pembakaran dalam boiler.

Proses pembakaran dalam boiler, yang melibatkan pembakaran bahan bakar dalam jumlah besar dengan kontrol suhu dan tekanan yang ketat, bisa dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar yang digunakan. Kayu sengon, meskipun memiliki potensi besar, dapat memengaruhi kestabilan dan efisiensi pembakaran, yang pada gilirannya berpotensi mempengaruhi performa boiler, emisi gas buang, serta efisiensi energi yang dihasilkan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan kayu sengon dalam *co-firing* terhadap pembakaran pada boiler. Penelitian ini akan fokus pada pengaruh kayu sengon terhadap parameter pembakaran, seperti suhu pembakaran, kadar oksigen, pembentukan gas emisi, serta efisiensi termal dari boiler yang digunakan. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang potensi kayu sengon sebagai bahan bakar alternatif dalam meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan dari proses pembakaran pada PLTU.

Dengan latar belakang ini, penelitian dapat mengarah pada solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, dengan memanfaatkan biomassa lokal yang dapat dimanfaatkan tanpa menambah beban terhadap alam atau lahan pertanian yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, permasalahan yang dibahas dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh batubara Bitumen terhadap Effisiensi Boiler?
2. Bagaimana pengaruh batubara Bitumen pada *co-firing* kayu sengon 20% terhadap efisiensi boiler?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu luas dan tidak menyimpang, maka perlu adanya batasan masalah dalam menyelesaikan analisis ini. Maka batasan masalah ini adalah:

1. Analisis berdasarkan data kesetimbangan panas Boiler pada PLTU XYZ.
2. Kondisi operasi dengan *supercritical* skala *rankine*.
3. Efek perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan.
4. Efisiensi pembakaran berdasarkan nilai kalor bahan bakar, hhv, lhv, dan residu pembakaran.
5. Tidak membahas gas buang pada pembakaran.
6. Temperatur yang digunakan pada boiler sebesar 500°C dan tekanan 205,3 bar

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, tujuan penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut

1. Untuk mengetahui pengaruh batubara Bitumen terhadap Effisiensi Boiler.
2. Untuk mengetahui pengaruh batubara Bitumen pada *co-firing* kayu sengon 20% terhadap efisiensi boiler.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil ini diharapkan dapat berguna sebagai salah satu acuan dan wawasan baru tentang *co-firing* biomassa kayu sengon yang lebih ramah lingkungan dari pada penggunaan batu bara.
2. Diharapkan bermanfaat dan dapat dijadikan rujukan untuk pemilihan parameter penggunaan biomasa kayu sengon guna *co-firing* terhadap pembangkit listrik tenaga uap.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian tentang pengaruh *co-firing* kayu sengon pada batubara terhadap efisiensi boiler, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *air heater* pada sistem pembakaran berhasil meningkatkan efisiensi boiler untuk semua variasi bahan bakar yang digunakan, baik batubara murni maupun campuran batubara dengan kayu sengon.
2. Efisiensi tertinggi dicapai pada pembakaran batubara bitumen murni dengan nilai efisiensi sebesar 97,1% setelah penambahan *air heater*, mengalami kenaikan dari kondisi awal sebesar 95,3%.
3. Pada campuran batubara bitumen 80% dengan 20% kayu sengon, efisiensi meningkat dari 91,6% menjadi 93,5% setelah penambahan *air heater*. Ini menunjukkan bahwa *co-firing* dengan persentase 20% masih cukup optimal meningkatkan efisiensi sistem.
4. Secara umum, penggunaan kayu sengon sebagai bahan bakar alternatif dalam proses *co-firing* dapat menekan ketergantungan terhadap batubara fosil, mendukung program energi baru terbarukan, dan tetap menjaga efisiensi boiler pada tingkat yang dapat diterima.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah

1. Untuk aplikasi *co-firing* skala industri, disarankan menggunakan campuran biomassa dalam rasio tidak lebih dari 20% untuk menjaga kestabilan dan efisiensi boiler tetap optimal.
2. Pengembangan teknologi pendukung seperti optimalisasi *air heater* dan sistem kontrol pembakaran sangat diperlukan agar dapat meminimalkan rugi-rugi panas yang terjadi pada saat *co-firing* biomassa.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan variasi jenis biomassa

lain selain kayu sengon, serta mengkaji pengaruh kelembaban bahan bakar terhadap performa efisiensi boiler.

4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dampak *co-firing* terhadap emisi gas buang agar implementasi biomassa sebagai energi alternatif tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga ramah lingkungan.
5. Diperlukan penelitian secara lapangan dan langsung meneliti di boiler dalam ukuran laboratorium.





DAFTAR PUSTAKA

- Amri Rosyid Susetyo, Chairul Nas, & Suliestyah. (2020). *Analisis Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran Batu Bara Pada Boiler Unit 3 Di Pltu Suralaya*. 3(2).
- Asmudi. (2009). *Efisiensi Boiler Dan Perhitungan Kehilangan Energi Pada Sistem Boiler*.
- Belin, E. (2002). *Superheater Design And Operation In Steam Boilers*.
- Billah, M. (2010). *Peningkatan Nilai Kalori Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Minyak Tanah Dan Minyak Residu*. Universitas Pembangunan Nasional (Upn) "Veteran."
- Borman, G. L., & Ragland, K. W. (1998). *Combustion Engineering*. Mcgraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (8th Ed.). Mcgraw-Hill Education.
- Culp, A. (1991). *Principles Of Energy Conversion* (2nd Ed.). Mcgraw-Hill.
- D. Djokostardjo. (1999). *Penggunaan Dan Sistem Kerja Boiler Dalam Industri*.
- Dedy Eka Priyanto. (2015). *Fly Ash Transformation And Fouling Tendency During Co-Firing Biomass With Coal*. Ihi Corporation.
- Erbas, O. (2021). Investigation Of Factors Affecting Thermal Performance In A Coal - Fired Boiler And Determination Of Thermal Losses By Energy Balance Method. *Case Studies In Thermal Engineering*, 26, 101047. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101047>
- Erny, K., Manik, L., Santi, S., Rahayu, P., Si, M., & Setiawan, I. (N.D.). *Final Project-Ss 141501 Modelling Of Electric Energy Needs In East Java With Simultaneous Equations Approach Undergraduate Programme Department Of Statistics Faculty Of Mathematics And Natural Sciences Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2016*.
- Ge Steam Power. (2019). *Boiler Technology Overview*. Ge Vernova.
- Gheorghe, D. (2011). *Fundamentals Of Steam Drum Operation In Boiler Systems*.
- Haluti, S. (2006). *Potensi Energi Limbah Jagung Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hendri, A. (2017). *Analisis Efisiensi Boiler Pada Industri Energi*. Andi.

- Kimutai, I. K., & Maina, P. (2022). Experimental Investigation Of Energy Efficiency And Saving Opportunities For An Industrial Boiler In Process Industry: A Case Study Of A Textile Manufacturing Industry In Kenya. *Journal Of Industrial Engineering And Management*, 7(2), 23–30.
- Kirk-Othmer. (1992). *Encyclopedia Of Chemical Technology* (4th Ed., Vol. 6). John Wiley & Sons.
- Koopmans, A., & Koppejan, J. (1997). *Agricultural And Forest Residues - Generation, Utilization And Availability*. Fao Regional Wood Energy Development Programme In Asia.
- Kurniawati, C. T., Sutrisno, J., Walujo, D. A., & Sembodo, B. P. (2022). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Manis (*Zea Mays* L. *Saccharata*) Sebagai Bahan Bioplastik Dengan Penambahan Zno Dan Gliserol. *Jurnal Teknik Waktu*, 20(1), 56–63.
- Lachke, A. H. (2002). Biofuel From Biomass: A Growth Opportunity For Indian Industry And Agriculture. *Tata Energy Research Institute*.
- Mahreni, M. (2019). *Batubara: Energi Untuk Masa Depan*. Pt Rajagrafindo Persada.
- Munir, A., Tahir, A. R., Sabir, M. S., & K. Ejaz. (2004). Efficiency Calculations Of Bagasse Fired Boiler On The Basis Of Flue Gases Temperature And Total Heat Values Of Steam. *Pakistan Journal Of Life And Social Sciences*, 2(1).
- Nagar, V., Kumar Soni, V., & Kumar Khare, V. (2013). Boiler Efficiency Improvement Through Analysis Of Losses. *International Journal For Scientific Research & Development*, 1(3).
- Patro, B. (2016). Efficiency Studies Of Combination Tube Boilers. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 193–202.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.12.007>
- P.K. Nag. (2001). *Power Plant Engineering*. Tata Mcgraw-Hill.
- Putri, A. D. (2017). *Analisis Unjuk Kerja Pemanas Air Pengisi (High Pressure Heater) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Paiton Unit 1*. Universitas Negeri Malang.
- Raja, A. K. , S. A. P. , & Dwivedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*. New Age International Publishers.
- Sakdillah, A., Pratama, I. M., & Hidayat, N. (2021). Analisis Nilai Afr Berdasarkan Basis Analisis Pada Pembakaran Biomassa. *Jurnal Teknologi Energi*, 15(2), 123–134.

- Sirajduddin Haluti. (2014). *Pemetaan Potensi Limbah Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif Diwilayah Provinsi Gorontalo*. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sudrajat, A. (2004). *Teknologi Pemanfaatan Limbah Pertanian Untuk Energi*. Penebar Swadaya.
- Wulandari, D., Santoso, H., & Nugroho, Y. (2021). Nilai Air Fuel Ratio (Afr) Pada Pembakaran Batubara Lignit: Studi Kasus Pada Boiler Industri. *Jurnal Teknologi Energi Indonesia*, 10(2), 45–53.
- Xiao, P., Zhang, Y., Wang, Y., & Wang, J. (2019). Analysis Of An Improved Economizer System For Active Control Of The Coal-Fired Boiler Flue Gas Temperature. *Energy*, 170, 185–198.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.147>

