

ANALISIS EFISIENSI TERMAL BOILER WATERTUBE DENGAN BERBAGAI VARIASI BAHAN BAKAR

Skripsi

*Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta*



Oleh :

ZULHANIF DANDY AJMI
2410017211076

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA**

2026

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA

EXECUTIVE SUMMARY
Reg No : 01/SKRIPSI/TM/FTI/III-2026

Nama : **Zulhanif Dandy Ajmi**
Npm : **2410017211076**
Bagian : **Teknik Mesin**
Judul Skripsi : **Analisi Efisiensi Termal Boiler Watertube Dengan Berbagai Variasi Bahan Bakar**

Telah dikonsultasikan dan disetujui oleh pembimbing untuk di upload ke *website*.

Dr.Ir.Edi Septe .S,M.T., (Pembimbing)



ANALISIS EFISIENSI TERMAL BOILER WATERTUBE DENGAN
BERBAGAI VARIASI BAHAN BAKAR

Zulhanif Dandy Ajmi¹, Edi Septe²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email:zulhanifd@gmail.com,

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi termal pada *boiler* tipe *watertube* berdasarkan variasi penggunaan bahan bakar biomassa dan padat yang digunakan secara bersamaan dalam proses pembakaran. *Boiler* merupakan peralatan penting dalam industri yang berfungsi menghasilkan uap melalui proses pemanasan air menggunakan energi panas dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal *boiler* dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar, nilai kalor, serta laju pemakaian bahan bakar yang digunakan dalam sistem pembakaran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis langsung (*direct method*), yaitu dengan membandingkan energi panas yang dihasilkan dalam bentuk uap dengan total energi panas yang masuk dari bahan bakar. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data operasional aktual boiler selama beberapa hari pengamatan, yang meliputi konsumsi bahan bakar kulit kayu, batubara, dan sludge serta produksi uap yang dihasilkan. Nilai kalor masing-masing bahan bakar digunakan untuk menghitung total energi panas yang masuk ke dalam sistem *boiler*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan bakar memberikan pengaruh terhadap nilai efisiensi termal *boiler* yang dihasilkan. Bahan bakar batubara memberikan kontribusi energi panas yang lebih besar karena memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan kulit kayu dan *sludge*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh variasi bahan bakar terhadap kinerja boiler serta menjadi referensi dalam upaya peningkatan efisiensi energi dan pemanfaatan limbah sebagai sumber energi alternatif dalam sistem pembangkit uap industri.

Kata kunci: efisiensi termal, *boiler watertube*, variasi bahan bakar, biomassa, batubara.

ABSTRACT

Boilers are essential equipment in industrial processes that function to generate steam by converting water into vapor using heat energy produced from fuel combustion. The performance of a boiler can be evaluated through its thermal efficiency, which indicates the effectiveness of converting fuel energy into useful steam energy. This study aims to analyze the thermal efficiency of a watertube boiler operating with various fuel combinations. The research method used in this study is the direct method, which compares the heat energy contained in the produced steam with the total heat energy supplied by the fuel. Operational data were obtained from actual boiler operating conditions over several observation periods, including the consumption rate of bark, coal, and sludge as fuels as well as the amount of steam produced. The calorific value of each fuel was used to determine the total heat energy input to the boiler system. The results show that variations in fuel composition influence the thermal efficiency of the watertube boiler. Coal provides the largest contribution to heat energy due to its higher calorific value compared to bark and sludge. This study provides an overview of the influence of fuel variation on boiler performance and can serve as a reference for improving energy efficiency and utilizing industrial waste as an alternative energy source in steam generation systems.

Keywords: thermal efficiency, watertube boiler, fuel variation, biomass, coal.

I. PENDAHULUAN

Boiler merupakan peralatan penting dalam sistem industri yang berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) sebagai sumber energi dalam berbagai proses produksi. Salah satu jenis boiler yang banyak digunakan pada industri adalah *watertube boiler*, di mana air mengalir di dalam pipa dan dipanaskan oleh gas hasil pembakaran di bagian luar pipa. Sistem ini memungkinkan proses perpindahan panas berlangsung lebih cepat sehingga mampu menghasilkan uap dengan tekanan dan kapasitas yang lebih tinggi.

Kinerja boiler sangat dipengaruhi oleh efisiensi termalnya, yaitu kemampuan *boiler* dalam mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi uap yang dihasilkan. Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa energi dari proses pembakaran dapat dimanfaatkan secara optimal, sedangkan efisiensi yang rendah menunjukkan adanya kehilangan panas selama proses operasi.

Dalam praktik industri, penggunaan bahan bakar *boiler* tidak selalu berasal dari satu jenis bahan bakar saja. Beberapa industri memanfaatkan kombinasi bahan bakar biomassa dan bahan bakar fosil untuk meningkatkan pemanfaatan energi serta mengurangi limbah produksi. Bahan bakar seperti kulit kayu dan *sludge* merupakan limbah yang masih memiliki nilai kalor sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar tambahan, sedangkan batubara digunakan sebagai bahan bakar utama karena memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan stabil dalam proses pembakaran.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi termal *watertube boiler* dengan penggunaan variasi bahan bakar berupa kulit kayu, batubara, dan *sludge* berdasarkan data operasional aktual. Analisis dilakukan dengan menghitung energi panas yang masuk dari bahan bakar dan membandingkannya dengan energi uap yang dihasilkan sehingga dapat diketahui kinerja efisiensi *boiler* yang dioperasikan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis kuantitatif berdasarkan data operasional aktual dari sistem *watertube boiler* yang digunakan dalam proses produksi industri. Data yang digunakan meliputi jumlah pemakaian bahan bakar, kapasitas produksi uap (*steam*), serta nilai kalor masing-masing bahan bakar yang digunakan selama periode pengamatan.

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis, yaitu kulit kayu sebagai bahan bakar biomassa, batubara sebagai bahan bakar utama, dan *sludge* sebagai bahan bakar tambahan yang berasal dari limbah proses industri. Ketiga bahan bakar tersebut digunakan secara bersamaan dalam proses pembakaran pada ruang bakar boiler.

Analisis efisiensi termal boiler dilakukan dengan menggunakan metode langsung (*direct method*), yaitu dengan membandingkan energi panas yang dihasilkan oleh uap dengan total energi panas yang masuk dari bahan bakar. Energi panas yang dihasilkan oleh uap dihitung berdasarkan laju aliran massa uap dan selisih entalpi antara air umpan dan uap yang dihasilkan. Sementara itu, energi panas dari bahan bakar dihitung berdasarkan laju konsumsi bahan bakar dan nilai kalor masing-masing bahan bakar.

Secara umum, efisiensi termal boiler dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

Dimana Q_{out} merupakan energi panas yang dihasilkan dalam bentuk uap, sedangkan Q_{in} merupakan total energi panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar.

Nilai energi panas yang masuk dari bahan bakar dihitung dengan persamaan:

$$Q_{in} = m \times HHV$$

di mana mmm merupakan laju konsumsi bahan bakar dan HHV merupakan nilai kalor tinggi (*Higher Heating Value*) dari bahan bakar tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Efisiensi

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi termal *boiler watertube* selama lima hari pengamatan, diperoleh nilai efisiensi yang bervariasi pada setiap hari operasi. Variasi ini dipengaruhi oleh kondisi pembakaran, kestabilan operasi boiler, serta komposisi bahan bakar yang digunakan.

Pada hari pertama pengamatan diperoleh nilai efisiensi sebesar **71,8%**. Nilai ini merupakan efisiensi terendah selama periode penelitian. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kondisi awal operasi boiler yang belum sepenuhnya stabil serta kemungkinan distribusi bahan bakar yang belum optimal dalam proses pembakaran.

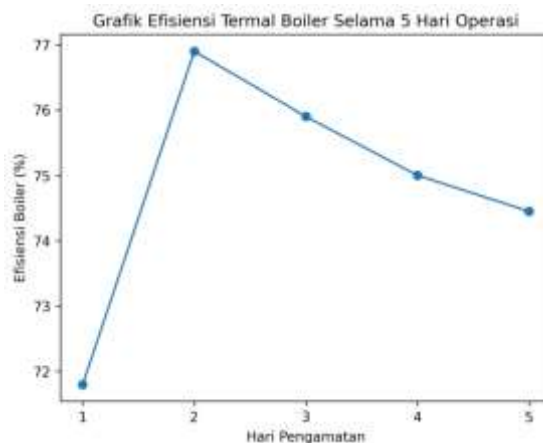
Pada hari kedua terjadi peningkatan efisiensi yang cukup signifikan hingga mencapai **76,9%**, yang merupakan nilai efisiensi tertinggi selama pengamatan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih efektif sehingga energi panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih maksimal untuk menghasilkan uap.

Pada hari ketiga efisiensi sedikit menurun menjadi **75,9%**. Meskipun terjadi penurunan dibandingkan hari sebelumnya, nilai efisiensi ini masih menunjukkan bahwa kinerja boiler berada pada kondisi operasi yang baik dan stabil.

Selanjutnya pada hari keempat nilai efisiensi tercatat sebesar **75,0%**. Penurunan ini dapat disebabkan oleh variasi komposisi bahan bakar atau perubahan kondisi pembakaran yang mempengaruhi jumlah energi panas yang dapat dimanfaatkan oleh sistem boiler.

Pada hari kelima efisiensi yang diperoleh sebesar **74,45%**. Nilai ini menunjukkan adanya fluktuasi efisiensi yang masih berada dalam rentang normal operasi boiler. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik bahan bakar yang digunakan, seperti batubara, kulit kayu, dan *sludge*, yang memiliki nilai kalor dan sifat pembakaran yang berbeda.

Secara keseluruhan, efisiensi *boiler watertube* selama lima hari pengamatan berada pada kisaran **71,8% hingga 76,9%**. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem boiler masih beroperasi dengan cukup baik meskipun menggunakan variasi bahan bakar yang berbeda. Perbedaan nilai efisiensi yang terjadi menunjukkan bahwa komposisi bahan bakar dan kestabilan proses pembakaran memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja termal *boiler*.



Gambar 1. Grafik Efisiensi Termal

Tabel 1. Konsumsi Bahan Bakar Boiler

No	Hari ke	Kulit kayu(Ton)	Batu Bara (Ton)	Sludge (Ton)
1	Hari 1	2087	61	82
2	Hari 2	2085	137	41
3	Hari 3	2051	67	61
4	Hari 4	2316	199	91
5	Hari 5	2313	352	87

Perbedaan nilai efisiensi yang diperoleh juga dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing bahan bakar. Batubara memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar biomassa seperti kulit kayu dan sludge. Oleh karena itu, kontribusi energi dari batubara relatif lebih besar dalam proses pembakaran, sedangkan bahan bakar biomassa berperan sebagai bahan bakar tambahan yang membantu proses pemanfaatan limbah industri.

3.2 Pengaruh Jenis dan Karakteristik Bahan Bakar

Penggunaan sludge dalam sistem pembakaran *boiler* menunjukkan bahwa bahan bakar ini tidak semata-mata diposisikan sebagai sumber energi utama, melainkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan limbah. Meskipun memiliki nilai kalor yang rendah serta kandungan air dan abu yang tinggi, *sludge* tetap dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam skala terbatas tanpa mengganggu operasi boiler secara signifikan. Pemanfaatan *sludge* ini berkontribusi pada pengurangan limbah industri yang harus dibuang, sekaligus menekan kebutuhan bahan bakar utama. Dalam konteks sistem pembakaran, sludge berperan sebagai bahan bakar pendamping (*co-firing fuel*) yang hanya memberikan kontribusi energi kecil terhadap total energi masuk boiler. Namun, selama proporsi penggunaannya dijaga pada tingkat yang rendah, pengaruh negatifnya terhadap efisiensi termal masih dapat ditoleransi. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan sludge lebih diarahkan pada efisiensi sistem secara keseluruhan, bukan hanya efisiensi termal semata.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan evaluasi kontribusi energi dan karakteristik nilai kalor masing-masing bahan bakar, dapat diidentifikasi bahwa bahan bakar yang digunakan secara konsisten dengan laju pemakaian tinggi dan karakteristik pembakaran yang stabil berperan dominan dalam mendukung pencapaian efisiensi termal *boiler* yang optimal. Kombinasi bahan bakar tersebut mampu menjaga suplai energi panas ke ruang bakar secara berkesinambungan, sehingga proses perpindahan panas ke pipa-pipa *boiler* berlangsung lebih merata dan stabil. Berdasarkan hasil analisis kuantitatif, efisiensi termal *boiler* berada pada rentang 71,8% hingga 76,9%. Nilai efisiensi tertinggi sebesar 76,9% diperoleh pada kondisi operasi dengan total heat input sebesar 3.260.800.000 dan laju produksi steam 53 kg/s. Sebaliknya, efisiensi terendah sebesar 71,8% terjadi pada saat total energi masuk relatif lebih kecil/besar yaitu 3.322.900.00 kJ/hari, yang menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan bakar secara langsung mempengaruhi performa perpindahan panas *boiler*. Kontribusi energi terbesar berasal dari batubara dengan nilai kalor tertinggi sebesar 353.800.000 kcal/hari, sehingga secara signifikan meningkatkan total heat input dan berdampak pada peningkatan efisiensi sistem.
2. Efisiensi termal *boiler watertube* yang dihitung berdasarkan perbandingan antara energi panas yang diserap oleh fluida kerja (*air/steam*) terhadap total energi panas yang masuk dari bahan bakar menunjukkan bahwa kinerja boiler berada pada kondisi operasional yang relatif stabil dan layak secara termal. Nilai efisiensi yang diperoleh

merepresentasikan kemampuan boiler dalam mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas uap secara efektif, meskipun menggunakan lebih dari satu jenis bahan bakar secara simultan.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Perusahaan kertas yang ada di Pangkalan Kerinci atas fasilitas dan dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada Bapak Dr.Ir.Edi Septe.S,M.T. atas bimbingan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. 2020. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik* (Edisi Revisi). Jakarta: Rineka Cipta.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hardi, I. M., & Heryadi, Y. 2021. Analisis Efisiensi Boiler Atmospheric Fluidized Bed Combustion Tipe Water Tube 75 Ton/jam. *Jurnal Teknologika*, 11(2), 1-11.
- Kumar, D., & Ghosh, A. 2020. *Steam Boiler Operation: Principles and Practice*. New Delhi: Tech Press.
- Maulana, A., Widodo, S., & Nugroho, H. A. 2016 Analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber dan cangkang. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 123–130.
- Moleong, L. J. 2021. *Metodologi Penelitian Kualitatif* (Edisi Revisi). Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. 2010) *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Nag, P. K. 2021. *Power Plant Engineering* (4th ed.). New Delhi: McGraw-Hill Education.
- Prabir Basu. 2020. *Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance*. Springer.
- Setiawan, Y. 201). Karakteristik Campuran Cangkang Dan Serabut Buah Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kalor Di Propinsi Bangka Belitung. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(1).
- Simanjuntak, E. 2023. Analisis Performa Boiler Berbahan Bakar Kombinasi Fiber Dan Cangkang Pada Boiler Takuma N-600 SA.
- Simanjuntak, E. 2023. Analisis Performa Boiler Berbahan Bakar Kombinasi Fiber Dan Cangkang Pada Boiler Takuma N-600 SA.
- Siswanto, J. E. (2020). Analisis limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler dengan menggunakan variasi campuran antara fiber dan cangkang buah sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 22-27.
- Sugiyono. 2020. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sutrisno, B. 2018. Analisis Efisiensi Termal Boiler Tipe CFB pada PLTU Berbahan Bakar Batubara. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 45–52.
- Tahdid, T., Ridwan, K. A., Rezatantia, T., & Pratama, M. A. 2022. Efisiensi Termal dan Specific Fuel Consumption(Sfc) Water Tube Boiler berdasarkan rasio udara bahan bakar diesel dan lpg untuk memproduksi saturated dan superheated steam. *Publikasi Penelitian Terapan dan Kebijakan*, 5(1), 19-26.
- Taishan Group. (n.d.). *Key Factors Influencing Heat Transfer and Combustion Efficiency in CFB Boilers*. CoalBiomassBoiler.com. Diambil pada 31 Juli 2025,
- Turns, S. R. (2012). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Utami, J. P. U. 2023. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Efisiensi Boiler-Submit Jurnal/Seminar (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Kalimantan).

Cahyo, N., Sulistyowati, D., Rahmanta, M. A., Felani, M. I., Soleh, M., Paryanto, P. Hariana, H. (2024). *A techno-economic and environmental analysis of co-firing implementation using coal and wood bark blend at circulating fluidized bed boiler. International Journal of Renewable Energy Development*, 13(4), 726–735.