



PENGARUH LAJU KALOR TERHADAP EFISIENSI BOILER PADA PABRIK KELAPA SAWIT

THE EFFECT OF HEAT RATE ON BOILER EFFICIENCY IN PALM OIL MILLS

Zulham Effendi¹, Rahimah^{2*}, Nabila Lowenski¹, Zakwan¹

¹ Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Indonesia

² Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Indonesia

*Corresponding Email : rahimahsst29@gmail.com

Abstract

Several factors that affect boiler efficiency in Palm Oil Mill are saturated pressure, feed water temperature, steam temperature, amount of steam produced, amount of fuel consumption, and calorific value of fuel combustion. The purpose of this study is to obtain the relationship between saturated pressure variations and boiler efficiency, the relationship between feed water temperature variations and boiler efficiency, the relationship between variations in the amount of steam produced and boiler efficiency, and to analyze the calorific value of 75% fiber fuel + 25% shell and Water Tube boiler efficiency. From the analysis results that have been carried out, it was obtained that the relationship between saturated pressure variations and boiler efficiency is not constant, but fluctuates. The relationship between feed water temperature variations and boiler efficiency shows an inconsistent pattern, while the relationship between variations in the amount of steam produced and boiler efficiency is relatively constant and increasing. The high combustion calorific value (HHV) is 21323.584 kJ/kg, and the low combustion calorific value (LHV) is 18083.584 kJ/kg. The highest boiler efficiency value produced is 68% and the lowest boiler efficiency value produced is 49%. This condition indicates that combustion is in an optimal state, where the heat produced is successfully absorbed maximally by the system, heat loss is minimal.

Keywords: *Boiler Efficiency, Pressure, Temperature, Fuel Calorific Value.*

How to Cite: Effendi, Z., Rahimah., Lowenski, N., & Zakwan (2025). Pengaruh Laju Kalor terhadap Efisiensi Boiler pada Pabrik Kelapa Sawit. Jurnal Agro Fabrica Vol.7 (2) : 120 – 126.

PENDAHULUAN

Efisiensi termal boiler merupakan salah satu indikator utama keberhasilan sistem pembangkitan uap dalam industri proses, termasuk industri kelapa sawit. Boiler yang

beroperasi secara efisien mampu mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas secara optimal, sehingga menghasilkan uap dengan konsumsi bahan bakar yang minimal. Salah satu parameter teknis yang

sangat memengaruhi efisiensi termal boiler adalah laju kalor (heat rate), yaitu jumlah energi panas yang dilepaskan per satuan waktu selama proses pembakaran. Laju kalor yang terkontrol dengan baik mencerminkan proses pembakaran yang efisien dan stabil, sehingga mendukung kinerja boiler secara keseluruhan (Wulandari & Basri, 2022).

Namun, pada kondisi operasional nyata, banyak sistem boiler belum mampu mempertahankan laju kalor pada tingkat yang optimal. Laju kalor yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemborosan energi, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta penurunan efisiensi pembangkitan uap. Dalam sistem boiler, laju kalor memiliki hubungan terbalik dengan efisiensi, di mana semakin rendah laju kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap, maka semakin tinggi efisiensi sistem tersebut (Aulia, 2020). Ketidaktepatan pengaturan rasio pencampuran bahan bakar dan udara pembakaran sering kali memperparah fluktuasi laju kalor dan menurunkan kinerja boiler.

Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kondisi ideal dan realita di lapangan. Beberapa penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa penurunan efisiensi boiler tidak hanya berdampak pada peningkatan biaya operasional, tetapi juga berkontribusi terhadap meningkatnya emisi gas rumah kaca serta kerugian energi yang signifikan (Firdaus dkk., 2016). Permasalahan

tersebut masih banyak dijumpai pada pabrik kelapa sawit, khususnya yang belum menerapkan sistem kontrol pembakaran secara presisi atau belum sepenuhnya memahami pengaruh fluktuasi laju kalor terhadap efisiensi performa boiler.

Oleh karena itu, pengelolaan laju kalor yang tepat menjadi kebutuhan mendesak dalam upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasi boiler. Pengendalian laju kalor yang optimal memungkinkan energi panas hasil pembakaran dapat diserap secara maksimal oleh sistem boiler, sehingga meningkatkan efisiensi termal dan kestabilan operasi (Sitepu dkk., 2017). Penelitian yang mengkaji hubungan antara laju kalor dan efisiensi performa boiler menjadi alternatif solusi yang relevan untuk menyediakan dasar ilmiah dalam pengaturan proses pembakaran yang lebih efektif di industri kelapa sawit.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghitung laju kalor aktual (kJ/s) pada boiler tipe water tube di pabrik minyak kelapa sawit berkapasitas 60 ton/jam, menentukan efisiensi performa boiler (%) berdasarkan data operasional aktual, serta menganalisis hubungan dan pengaruh antara laju kalor dan efisiensi performa boiler. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi industri dalam meningkatkan efisiensi energi, menurunkan konsumsi bahan bakar, serta memastikan

kelancaran dan kestabilan operasi boiler di pabrik kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) PT STAR BAHAL yang berlokasi di Desa Aloban, Kecamatan Portibi, Kabupaten Padang Lawas Utara, Provinsi Sumatera Utara. Pelaksanaan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yaitu pada periode November 2024 hingga Januari 2025. Pemilihan lokasi didasarkan pada ketersediaan sistem boiler tipe water tube yang beroperasi secara kontinu serta tersedianya data operasional yang memadai untuk dianalisis.

Bahan dan Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit boiler produksi Mackenzie Industries Sdn. Bhd. yang digunakan di PMKS PT STAR BAHAL. Selain itu, perangkat lunak Chemicalogic SteamTab Companion dimanfaatkan untuk membantu perhitungan sifat termodinamika uap dan air umpan berdasarkan kondisi operasi aktual.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan bakar biomassa berupa serabut dan cangkang kelapa sawit, serta data pendukung berupa logsheet operasional boiler. Data yang dianalisis

merupakan data sekunder yang diperoleh dari catatan operasi boiler pada bulan November 2024.

Desain atau Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dan deskriptif kuantitatif. Pendekatan deskriptif kualitatif digunakan untuk menjelaskan karakteristik operasional boiler dan sistem pembakaran berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Sementara itu, pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik yang berkaitan dengan laju kalor dan efisiensi performa boiler. Seluruh analisis dilakukan berdasarkan data sekunder operasional dan dikaitkan dengan teori termodinamika serta kinerja boiler yang relevan.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan observasi lapangan untuk memahami kondisi operasional boiler dan sistem pendukungnya di lokasi penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data operasional boiler berupa *logsheet* harian selama kurang lebih satu minggu, yang mencakup parameter tekanan uap jenuh, temperatur uap keluar, temperature deaerator, laju aliran uap, dan temperatur air umpan.

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis dan diolah untuk menghitung laju kalor aktual, nilai kalor bahan bakar, serta efisiensi performa boiler berdasarkan kondisi operasi nyata. Hasil perhitungan selanjutnya diinterpretasikan melalui penyajian grafik untuk menunjukkan hubungan antara laju kalor dan efisiensi performa boiler. Tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

Perhitungan Nilai kalor

$$\text{High Heating Value (HHV)} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \text{ (kJ/kg)}$$

Keterangan :

T_1 = suhu air dingin sebelum penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = suhu air dingin setelah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{kp} = kenaikan suhu kawat menyala $0,05^{\circ}\text{C}$

C_v = panas jenis bom kalorimeter ($73529,6 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

$$\text{Low Heating Value (LHV)} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati dalam penelitian ini terdiri atas parameter operasional dan parameter kinerja boiler. Parameter operasional meliputi tekanan uap jenuh, temperatur uap keluar, temperatur deaerator, laju aliran uap, dan temperatur

air umpan. Parameter kinerja meliputi laju kalor boiler, jumlah dan nilai kalor bahan bakar, serta efisiensi performa boiler. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh laju kalor terhadap efisiensi performa boiler secara menyeluruh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Kalor Aktual Boiler

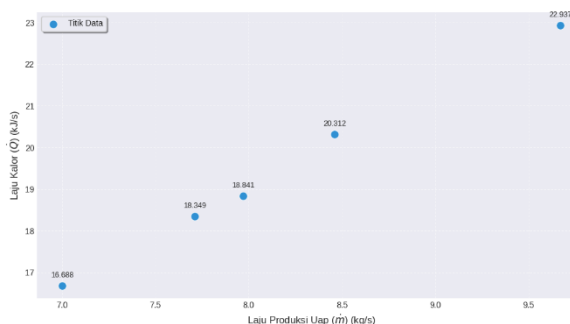
Pengamatan laju kalor dilakukan selama lima hari operasi untuk menggambarkan kondisi aktual kinerja boiler. Laju kalor dihitung berdasarkan laju produksi uap dan selisih entalpi antara uap keluar dan air umpan masuk, yang mencerminkan besarnya energi panas yang dikonversi menjadi uap.

Tabel 1. Laju Kalor Aktual Boiler

Data	Laju Produksi Uap (kg/s)	Entalpi Keluar h_{out} (kJ/kg)	Entalpi Masuk h_{in} (kJ/kg)	Laju Kalor Q (kJ/s)
Hari 1	7,97	2799	423	18.841
Hari 2	7,71	2799	419	18.349
Hari 3	9,67	2800	428	22.937
Hari 4	8,46	2799	398	20.312
Hari 5	7,00	2798	415	16.688

Tabel 1 menunjukkan bahwa laju kalor aktual boiler berada pada kisaran $16.688\text{--}22.937 \text{ kJ/s}$. Nilai tertinggi diperoleh pada hari ke 3, yang memiliki laju produksi uap terbesar, yaitu $9,67 \text{ kg/s}$, sedangkan nilai terendah terjadi pada hari ke 5 dengan laju uap $7,00 \text{ kg/s}$. Hal ini

mengindikasikan bahwa laju kalor sangat dipengaruhi oleh besarnya aliran massa uap dan perbedaan entalpi antara kondisi masuk dan keluar boiler. Temuan ini sejalan dengan teori perpindahan panas yang menyatakan bahwa peningkatan laju aliran fluida kerja akan meningkatkan kebutuhan energi panas untuk proses pembangkitan uap (Moran et al., 2018; Wulandari & Basri, 2022).



Gambar 1. Hubungan laju produksi uap (x) dan laju kalor (y) pada 5 hari (titik data)

Gambar 1 menunjukkan adanya korelasi linier positif dan kuat antara Laju Produksi Uap dan Laju Kalor yang diperlukan dalam suatu proses termodinamika, seperti pada ketel uap atau boiler. Dengan kata lain, semakin banyak energi panas (kalor) yang dimasukkan ke dalam sistem, semakin besar pula laju air yang berhasil dikonversi menjadi uap panas (*superheated steam*). Setiap titik data mengindikasikan bahwa untuk mencapai laju produksi uap yang lebih tinggi—misalnya dari sekitar 7.0 kg/s (16.688 kJ/s) menuju 9.67 kg/s (22.937 kJ/s)—diperlukan suplai energi kalor yang secara proporsional lebih besar, mengonfirmasi prinsip kekekalan energi di mana input energi sebanding dengan output massa

uap yang dihasilkan (Perdana & Akhriyanto, 2022).

Efisiensi Boiler Berdasarkan Data Operasional

Efisiensi performa boiler dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas konversi energi panas menjadi energi uap pada kondisi operasi aktual. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi boiler cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kapasitas produksi uap. Efisiensi tertinggi dicapai pada Data 3 sebesar 68% dengan laju produksi uap 34.830 kg/jam, sedangkan efisiensi terendah sebesar 49% terjadi pada Data 5 dengan kapasitas uap 25.220 kg/jam. Meskipun konsumsi bahan bakar relatif konstan sebesar 6.750 kg/jam, nilai efisiensi yang dihasilkan berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi boiler tidak hanya ditentukan oleh jumlah bahan bakar, tetapi sangat dipengaruhi oleh efektivitas proses konversi energi panas.

Selain itu, entalpi air umpan berperan penting dalam meningkatkan efisiensi. Entalpi air umpan yang lebih tinggi menandakan temperatur awal air yang lebih tinggi sebelum memasuki boiler, sehingga kebutuhan energi untuk mencapai kondisi uap jenuh menjadi lebih rendah. Kondisi ini terlihat pada Data 3 yang memiliki entalpi air umpan tertinggi dan menghasilkan efisiensi paling optimal. Hubungan positif juga ditemukan antara temperatur uap keluar dan efisiensi boiler, di mana temperatur outlet yang lebih tinggi menunjukkan proses perpindahan panas yang lebih efektif (Aulia, 2020; Çengel & Boles, 2019).

Nilai Kalor Bahan Bakar Biomassa

Nilai kalor bahan bakar biomassa diuji menggunakan bom kalorimeter untuk mengetahui karakteristik energi campuran cangkang dan serabut kelapa sawit.

Tabel 2. Nilai Kalor Bahan Bakar (Cangkang 75% + Serabut 25%)

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26,93	27,27	21.323,584	18.083,584
2	27,44	27,78	21.323,584	18.083,584
3	27,94	28,27	20.588,288	17.348,288
4	28,38	28,73	22.058,880	18.818,880
5	28,96	29,30	21.323,584	18.083,584
Rata-rata	-	-	21.323,584	18.083,584

Rata-rata nilai HHV dan LHV masing-masing sebesar 21.323,584 kJ/kg dan 18.083,584 kJ/kg. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran cangkang dan serabut kelapa sawit memiliki potensi energi yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai bahan bakar boiler biomassa. Variasi nilai kalor dipengaruhi oleh perubahan temperatur air pendingin selama pengujian, yang berdampak pada hasil perhitungan energi. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa biomassa kelapa sawit memiliki nilai kalor yang kompetitif sebagai sumber energi terbarukan di industri (Firdaus et al., 2016; Basu, 2018).

Pengaruh Laju Kalor terhadap Efisiensi Boiler

Hubungan antara laju kalor dan efisiensi boiler dianalisis untuk mengetahui sejauh mana energi

panas yang dihasilkan memengaruhi performa sistem.

Tabel 3. Hubungan Laju Kalor dan Efisiensi Boiler

Data	Laju Kalor (kJ/s)	Efisiensi Boiler (%)
Hari 1	18.841	56
Hari 2	18.349	54
Hari 3	22.937	68
Hari 4	20.312	60
Hari 5	16.688	49

Hasil menunjukkan bahwa peningkatan laju kalor cenderung diikuti oleh peningkatan efisiensi boiler, yang mengindikasikan bahwa energi panas yang lebih besar dapat dikonversi secara lebih efektif menjadi energi uap. Namun, hubungan tersebut tidak sepenuhnya linier, karena efisiensi juga dipengaruhi oleh parameter operasional lain seperti temperatur dan tekanan kerja, kualitas bahan bakar, karakteristik air umpan, serta kinerja perpindahan panas di dalam boiler. Temuan ini sejalan dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa optimalisasi efisiensi boiler memerlukan pengendalian terpadu terhadap seluruh variabel operasi, bukan hanya peningkatan laju kalor semata (Sitepu et al., 2017; Saidur et al., 2011).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, efisiensi tertinggi dicapai pada hari ketiga dengan nilai efisiensi sebesar 68% dan laju kalor sebesar 22.937 kJ/s. Kondisi ini menunjukkan pembakaran berada dalam

keadaan optimal, di mana panas yang dihasilkan berhasil diserap secara maksimal oleh sistem, sehingga kehilangan panas (heat loss) menjadi minimal. Sebaliknya, efisiensi terendah tercatat pada hari kelima yaitu sebesar 49% meskipun laju kalor berada pada kisaran 16.688 kJ/s. Rendahnya efisiensi ini kemungkinan besar disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna atau terjadinya kehilangan panas yang lebih besar di dalam sistem boiler.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, D. (2020). Pengaruh *off service high pressure heater* terhadap perubahan *mass flow rate* dan performa PLTU Paiton Unit 9 dengan simulasi Tempocycle dan Gambit-Fluent. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Batubara, P. (2014). Analisa efisiensi *water tube boiler* berbahan bakar fiber dan cangkang di *palm oil mill* dengan kapasitas 45 ton TBS/jam. Universitas Sumatera Utara.
- Effendi, Z., Aisyah, S., & Hastyanda, R. (2021). Fuel used analysis on boiler efficiency variations and water intake temperature affected by palm oil varieties. *Agroindustry Business*, 4(1), 94–105. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i1.634>
- Firdaus, A., Syamsul, M., & Arif, M. (2016). Creating the standard for specific energy consumption at palm oil industry. *Sinergi*, 20, 9–13.
- Hikmawan, O., Naufa, M., & Simarmata, L. H. (2020). Pemanfaatan cangkang dan serat kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler (*Utilization of palm kernel shell and fiber as boiler fuel*).
- Rahman, F., Hafid, S., Jamaluddin, Priyatno, M. S., & Jabir, I. (2024). Analisis efisiensi boiler menggunakan bahan bakar cangkang kelapa sawit dan batubara. *Jurnal Teknik Mesin Al-Gazali (AJME)*, 2(1), 32–41. <https://doi.org/10.56923/ajme.v2i01.109>
- Sianipar, R. R., & Hutabarat, O. S. D. (2020). Analisa mesin boiler pada pabrik pengolahan kelapa sawit di PT Jebindo Sarana Teknologi. Universitas Medan Area.
- 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. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- Sitepu, T., Napitupulu, F. H., Gultom, S., & Sembiring, P. G. (2017). Analisa efisiensi *water tube boiler* berbahan bakar fiber dan cangkang di *palm oil mill* dengan kapasitas 45 ton TBS/jam. *Jurnal Dinamis*, 5(3), 216–7492.
- Wulandari, S., & Basri, H. (2022). Analisa energi dan eksergi sistem pembangkit listrik tenaga uap. *Buletin Poltanesa*, 23(1). <https://doi.org/10.51967/tanesa.v23i1.953>
- Perdana, R. S., & Akhiriyanto, N. (2022). Analisis efisiensi thermal dan eksergi pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (pltp) tipe single flash. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral*, 2(1), 1340–1352. <https://doi.org/10.53026/sntem.v2i1.814>